

Мирослава Олексіївна Солдак,*канд. екон. наук, старший науковий співробітник*

Інститут економіки промисловості НАН України

вул. Марії Капніст, 2, м. Київ, 03057, Україна

E-mail: soldak@nas.gov.ua<https://orcid.org/0000-0002-4762-3083>

ПРОМИСЛОВІ ЕКОСИСТЕМИ І ЦИФРОВІЗАЦІЯ В КОНТЕКСТІ СТАЛОГО РОЗВИТКУ¹

Масштабне використання сучасних цифрових технологій обумовлює інтенсифікацію процесів формування і подальшого розвитку промислових екосистем як стійких географічно визначених мереж взаємопов'язаних різнопланових підприємств і установ, що ґрунтуються на певних виробничих технологіях. Одночасно спостерігається зміна місць розташування промислових екосистем, що проявляється в суперечливих процесах рещорингу і ніа-шорингу, а також поглиблення їх спеціалізації, в результаті чого в різних регіонах світу трансформуються наявні та формуються нові промислові екосистеми з різним впливом на довкілля.

Кожна промислова екосистема є унікальною, але має певні схожі риси з іншими екосистемами, що дає об'єктивні підстави для виокремлення їх характерних типів. Здійснено групування національних економік (68 країн) за розмірами промислових екосистем (доданою вартістю), їх трудо-, науковістю та екологічністю (викидами CO₂). За результатами кластерного аналізу встановлено, що безумовне лідерство за якісними характеристиками, перш за все за продуктивністю праці та витратами на R&D, належить промисловим екосистемам розвинутих країн Європи, Азіатсько-Тихоокеанського регіону та США. Промислову екосистему України віднесено до кластера «наздоганяючих» країн, які характеризуються гіршими показниками, у тому числі у сфері сталого розвитку.

Для оцінки екологічності промислових екосистем запропоновано використовувати показник питомої площі екологічного сліду, який характеризує його розмір, що припадає на споживання 1 т вугілля. Розрахунки цього показника засвідчили, що збільшення споживання вугілля у світі в останні десятиліття супроводжувалося зменшенням питомої площі екологічного сліду в результаті прогресу в розвитку «чистих» технологій виробництва і споживання цього енергоносія. Разом з тим ситуація є різною в окремих кластерах промислових екосистем. З урахуванням різниці в обсягах виробництва ВВП на одну особу питомий екологічний слід країн, що розвиваються, майже втричі більше, ніж у розвинутих. Тобто забезпечення життєдіяльності людини у промислових екосистемах країн, що розвиваються (у тому числі в Україні), у розрахунку на 1 дол. доходів пов'язане із суттєво більшим питомим екологічним слідом.

У даний час національна промислова екосистема України відрізняється низьким техніко-технологічним рівнем виробництва і високим питомим споживанням вугілля з відповідними негативними наслідками для довкілля. Для забезпечення її переходу на траєкторію сталого розвитку необхідне створення інститутів, які б стимулювали на державному рівні циклічну модель поведінки промислових підприємств, а також розвиток та поширення новітніх цифрових технологій у промисловому виробництві та енергетиці, які здатні зменшити екологічний слід.

¹ Стаття підготовлена в рамках виконання проекту «Вплив цифровізації на забезпечення сталого розвитку в умовах глобальної нестабільності» цільової комплексної програми наукових досліджень НАН України «Реконструкція економіки України: історичні виклики і сучасні проекти».

Ключові слова: промислова екосистема, цифровізація, сталий розвиток, екологічний слід, питома площа екологічного сліду.

JEL: O330, O140, Q570

Сталий розвиток передбачає забезпечення економічного зростання, якості життя та здорового довкілля з урахуванням інтересів майбутніх поколінь. Досягнення цих цілей неможливе без урахування специфічних для даного географічного й історичного контексту технологічних, інституційних і екологічних чинників. Четверта промислова революція, яка базується на цифровій революції, суттєво змінює характер взаємодії людини, створюваних нею підприємств і навколишнього середовища. Масштабне використання підричних цифрових і виробничих технологій, пов'язаних із поширенням смарт-промисловості (Індустрії 4.0), обумовлює принципові трансформації цієї взаємодії, що проявляється в таких аспектах.

Інтенсифікація процесів формування і подальшого розвитку промислових екосистем

Сучасна смарт-промисловість – це набагато більше, ніж відокремлені підприємства та продукти, які на них створюються, оскільки вона базується на інтегрованих цифрових мережах, у яких виробничі ланцюжки взаємопов'язані з дослідниками і розробниками, постачальниками, кредиторами, дистриб'юторами, споживачами через новітні інформаційно-комунікаційні технології (ІКТ) (Вишневський (ред.), 2019, с. 34-35]. Завдяки цьому формуються промислові екосистеми (Солдак, 2019), які поліпшують координацію та підвищують ступінь активності участі всіх партнерів як в окремих ланцюжках, так і в цілісних мережах створення вартості. «Ядра» таких екосистем розташовані в певному географічному просторі та інтенсивно взаємодіють із навколишнім середовищем. Тобто поняття «промислова екосистема» є носієм подвійного сенсу. По-перше, це стійка мережа взаємопов'язаних різнопланових підприємств і установ, заснована на відповідних виробничих технологіях, так що різ-

ним ступеням розвитку домінуючих технологій відповідають різні за ступенем розвитку промислові екосистеми. По-друге, це аналог біологічної екосистеми, що складається з економічних суб'єктів, середовища їх функціонування та системи зв'язків, завдяки якій здійснюється обмін речовин і енергії між ними, більш або менш інтенсивний, із більшими або меншими наслідками для довкілля.

Зміна місць розташування промислових екосистем

Сучасне кіберфізичне виробництво стає менш трудомістким, більш наукоємним і тяжіє до споживача. Останні дослідження свідчать про зростання інтенсивності торгівлі на макрорегіональному рівні, коли підприємства переходять на більш локалізовані ланцюжки поставок, переміщують виробництво або постачальників з-за кордону ближче до дому (решоринг, ніашоринг) (Fratocchi, Di Stefano, 2019; Kaivo-Oja, Knudsen, Lauraeus, 2018). Багато транснаціональних корпорацій змінюють свої стратегії інтерналізації і відходять від поляризованих глобальних ланцюжків доданої вартості, концентруючи виробництво навколо макрорегіональних виробничих платформ, де скорочені та ближчі ланцюжки можуть забезпечити кращий моніторинг і контроль якості продукції, більшу гнучкість й оперативність (Pegoraro, Propris, Chidlow, 2020, с. 167). Пандемія COVID-19 прискорила процеси деглобалізації світової промисловості та переміщення виробництва, особливо в таких галузях, як хімічна промисловість, металообробка, електротовари і електроніка (Marin, 2020), що посилює процеси релокації промислових екосистем.

Поглиблення спеціалізації промислових екосистем

Глобалізація призвела до збільшення імпорту сировини і напівфабрикатів до розвинутих країн і закріплення сировинної

спеціалізації за країнами-експортерами. Промислово-сировинні галузі мають свої особливості: природні ресурси у добувних галузях зазвичай географічно сконцентровані; у багатьох країнах-експортерах корисних копалин продукти добувних галузей становлять значну частку їх загального експорту, диверсифікація експорту є низькою, а внутрішній дохід, зайнятість і доходи бюджетів значною мірою залежать від однієї галузі. Крім того, добувні галузі характеризуються високою капіталоемністю й утворенням великого обсягу відходів (Fung, Korinek, 2013, с. 6). Обумовлені поширенням смарт-промисловості процеси рещорингу (ніашорингу) загострюють проблему нерівномірного розташування нових виробничих потужностей і призводять до реструктуризації раніше сформованих промислових екосистем. З'являються групи країн-лідерів нової індустріалізації, заснованої на сучасних «розумних» і екологічно чистих технологіях, і країн-аутсайдерів, які повільніше та гірше пристосовуються до нових технологічних змін і вимушені використовувати застарілі екологічно небезпечні технології.

Розвинуті країни використовують можливості цифровізації для подальшого розвитку «зеленої» економіки шляхом підвищення ефективності виробництва, скорочення попиту на природні ресурси завдяки повній або частковій заміні фізичних продуктів та послуг на їх віртуальні еквіваленти, дематеріалізації діяльності людини. Це створює потенціал зменшення емісії CO₂ (Гаркушенко, Заніздра, 2020). Завдяки цифровому управлінню мережами енергоспоживання можлива економія до 30% світової енергії (Forge, Blackman, Bohlin та ін., 2009). Але цифровізація пов'язана також і з негативними екологічними аспектами: ІКТ споживають 3,6% світового попиту на електроенергію та створюють 1,4% викидів вуглецю. З урахуванням діяльності деяких креативних індустрій (кіно, музика та ігри), а також роботи офісних принтерів частка потреби в енергії зростає до 6% (The

Guardian, 2018). Крім того, високотехнологічне виробництво і споживання створюють так зване електронне сміття, від якого намагаються позбутися. У зв'язку з цим на світовий порядок денний винесено питання, пов'язані з проблемами потенційного експорту екологічного сміття до менш розвинутих країн (UNECE, 2013).

Вирішенню завдання створення більш екологічно чистої та безвідходної промисловості, яка має бути конкурентоспроможною на світовій арені, сприяє нова промислова стратегія Європи (European Commission, 2020). Вона має на меті забезпечити перехід європейських промислових екосистем, які об'єднують академічні та науково-дослідні інститути, постачальників, малий, середній і великий бізнес, до кліматичної нейтральності та цифрового лідерства. Її досягненню мають сприяти три рушійних чинники:

«зелений» перехід. Основою нової стратегії зростання – Європейського «зеленого» курсу (European Green Deal) – є прагнення Європи стати до 2050 р. першим у світі кліматично нейтральним континентом;

глобальна конкурентоспроможність. Передбачається створити необхідні умови для того, щоб підприємці могли втілити свої ідеї у продукти та послуги, а компанії будь-якого розміру – досягти процвітання і зростання;

цифровий перехід. Цифрові технології змінюють вигляд промисловості та способів ведення бізнесу, дозволяють економічним гравцям проявляти більшу активність, навчають робітників нових навичок і підтримують декарбонізацію економіки (European Commission, 2020).

Таким чином, сучасні цифрові трансформації змінюють індустрію, яка стає все більш «розумною», орієнтованою на споживача й екологічно чистою. Але вона розвивається не всюди і нерівномірно. Крім того, у зв'язку з розвитком смарт-промисловості у світі тривають суперечливі процеси рещорингу і ніашорингу. Транс-

формація геоіндустріальної виробничої структури прискорюється через пандемію COVID-19. Усе це призводить до того, що в різних регіонах світу трансформуються наявні та формуються нові промислові екосистеми з різною спеціалізацією і рівнем розвитку та, відповідно, різним впливом на довкілля. Ці процеси є новими, дуже непростими і суперечливими.

Мета статті – виявити сучасні особливості еволюції промислових екосистем в умовах цифровізації в контексті сталого розвитку.

Структурно стаття побудована таким чином. У першому розділі наведено огляд наукової літератури щодо концепцій промислових екосистем, які формуються в епоху цифровізації, у контексті сталого розвитку. Другий розділ присвячено характеристиці промислових екосистем деяких країн. Далі визначено особливості промислової екосистеми України, що змінюється під впливом цифровізації та формування нових мереж створення вартості. Підсумки дослідження підбито в коротких висновках.

Поняття промислової екосистеми в контексті сталого розвитку

Концепція промислових екосистем нерозривно пов'язана з промисловою екологією. Вона набула популярності після висловлення ідеї Д. Фрош і Н. Галлопуолос про те, що традиційна модель виробничої діяльності, у якій окремі виробничі процеси споживають сировину і виробляють продукцію для продажу, а також відходи, що підлягають видаленню, має бути перетворена на більш інтегровану модель – промислову екосистему. При цьому промислова екосистема має функціонувати як аналог біологічної (рослини синтезують живильні речовини, якими харчуються травоядні, які, у свою чергу, живлять ланцюжок м'ясоїдних тварин, чий відходи і тіла зрештою служать їжею для наступних поколінь рослин) (Frosch, Gallopoulos, 1989, с. 95).

Р. Айрес стосовно промислових процесів використовує біологічний термін «метаболізм». Біологічний організм споживає багаті на енергію матеріали з низькою ентропією (їжу), щоб забезпечити своє власне обслуговування і функції, а також надлишки, необхідні для росту або відтворення. Процес також обов'язково включає виділення або видихання відходів, що складаються з деградованих матеріалів із високою ентропією. Метаболізм у промисловості являє собою всю інтегровану сукупність фізичних процесів (працю), які перетворюють сировину й енергію на готову продукцію і відходи в більш-менш стійкому стані (Ayres, 1994, с. 23-24). Це підкреслює важливість розуміння того факту, що організми, тварини, люди, підприємства та промислові екосистеми є живими системами і подібними до біологічних у тому, що отримують речовини з навколишнього середовища, виробляють продукцію та повертають її назад у навколишнє середовище. Але, на відміну від біологічних, промислові екосистеми не є повністю сталими (Korhonen, 2000, с. 19).

У промислових екосистемах аналогом живого організму виступає промислове підприємство. Разом з тим між ними є важливі відмінності:

біологічні організми відтворюють себе подібних, а в промисловій екосистемі підприємства виробляють продукти або послуги;

на відміну від організмів, які є дуже спеціалізованими і не можуть змінити свою поведінку, окрім як протягом тривалого (еволюційного) періоду часу, підприємства не обов'язково мають бути спеціалізованими і можуть переходити від виробництва одного продукту або бізнесу до іншого (Ayres, 1994, с. 25);

підприємство одержує вигоду з доданої вартості, яка включається до продуктів. На кожному етапі виробництва матеріали перетворюються на товари, які містять додану вартість, і відходи, що не містять доданої вартості. Додана вартість у біологіч-

них системах більш обмежена через природу травлення. Велика частина структурних елементів, що накопичуються в біомасі у процесі життєдіяльності, втрачається і тому не цінується високо; однак додана вартість відсутня не повністю (Levine, 2003, с. 39).

Біологічна екосистема – це співтовариство живих організмів та неживих компонентів, які пов'язані між собою циклами споживчих речовин та потоками енергії. Харчуючись рослинами й один одним, тварини відіграють важливу роль у переміщенні матерії та енергії в системі. Вони також впливають на кількість присутньої рослинної і мікробної біомаси. Розкладаючи мертві органічні речовини, декомпозери (від французького *decomposer* – розчиняти, дробити) вивільняють вуглець, повертають його в атмосферу і сприяють кругообігу поживних речовин, перетворюючи поживні речовини, що зберігаються в мертвій біомасі, назад у форму, яка може бути знову використана рослинами та тваринами.

Оскільки біологічні та промислові організми мають багато спільних характеристик, класична біологічна концепція організму може бути розширена завдяки включенню до неї промислових організмів, а концепцію біологічної екосистеми можна розширити завдяки взаємодії людства у процесі виробництва, втіленої у вигляді промислових екосистем (Graedel, 1996, с. 76). При цьому промислова екологія представляє промислові системи як невід'ємні частини біологічних екосистем. У даному випадку під «промисловими екосистемами» розуміються мережі організацій, які спільно використовують основні ресурси і продукти, такі як сировина, продукти, технологічні відходи, енергія і вода (Hardy, Graedel, 2002, с. 30), або як екосистеми, у яких компанії займають різні ієрархічні трофічні рівні в харчовій мережі, а матеріали й енергія утворюють між собою метаболічні зв'язки (Ashton, 2009, с. 2). Останнє визначення підкреслює ту обставину, що

промислова екосистема має прагнути до сталого стану.

Деякі дослідники вважають, що розуміння промисловими екологами біологічних екосистем є занадто спрощеним і вибірковим, череватим теоретичними й емпіричними упередженнями, а вибір екологічних метафор може призвести до різних наслідків для нашого розуміння сталого бізнесу і сталого розвитку (Wells, 2006, с. 117). Інші підкреслюють, що в дослідженнях промислових екосистем через біологічні аналогії забагато уваги приділяється промисловим виробникам і відносно мало – споживачам, хоча і перші, і другі важливі для розуміння всієї системи (Levine, 2003), особливо в контексті встановлення симбіотичних зв'язків між різними трофічними рівнями.

Однак, незважаючи на критику, екологічні поняття продовжують сприйматися як корисні для розуміння структури та процесів розвитку регіональних і національних промислових систем на шляху до стійкості (Korhonen, 2000, с. 72; Graedel, 1996, с. 76).

Застосування метафор біологічних екосистем у характеристиках промислових екосистем

Як зазначено раніше, у промислових екосистемах провідну роль відіграє продукт – послуга чи вироблений товар, який можна обміняти на щось цінне, у першу чергу на гроші або на інші товари і послуги. Виробнича діяльність потребує матеріалів або поживних речовин від природи, використовує енергію та впливає на вуглецевий цикл. Усі ці потоки тісно пов'язані з найбільш серйозними екологічними проблемами сучасності. Тому промислова екосистема у своєму прагненні до сталого стану має переслідувати насамперед такі цілі, як дотримання відтворювальної здатності біологічної екосистеми шляхом переробки та повторного використання промисловими суб'єктами відходів виробництва або повернення їх у біологічну екосистему, ви-

робництво енергії на основі використання відновлювальних джерел та каскадування потоків енергії.

Промислові екологи досліджують сталий розвиток промислових екосистем через феномен промислового симбіозу, коли група промислових підприємств координує свою діяльність з управління ресурсами та досягає колективної екологічної та економічної вигоди (Chertow, Ashton, Espinosa, 2008, с. 1300). Зазвичай промисловий симбіоз характеризується зв'язками, у рамках яких один суб'єкт господарської діяльності виробляє власну продукцію або надає послуги, використовуючи як сировину матеріальний потік, що є відходами господарювання іншого суб'єкта (Chertow, Ehrenfeld, 2012, с. 15). Внутрішні зв'язки можуть включати: загальне керівництво комунальною інфраструктурою або інфраструктурою водо- та енергопостачання; загальні послуги, які мають явні вигоди від збереження ресурсів; повторне використання побічних продуктів (Chertow, Ashton, Espinosa, 2008, с. 1301). Інші приклади симбіотичного співробітництва містять спільне використання конкретного обладнання або об'єктів та об'єднання ресурсів. Екологічні переваги є результатом скорочення споживання ресурсів і зменшення кількості відходів та викидів. Система обміну зазвичай перетворює негативні зовнішні чинники навколишнього середовища, головним чином у вигляді відходів, на позитивні, такі як зменшення забруднення та потреби в сировині (Chertow, Ehrenfeld, с. 14).

По суті, у рамках промислового симбіозу відбувається спільна робота всіх компонентів екосистеми та виконання їх екосистемних функцій за аналогією з біологічними – обмін енергією та поживними речовинами в харчовому ланцюзі, який підтримує життя рослин і тварин на планеті, а також розкладання органічної речовини та виробництво біомаси.

У біологічній екосистемі є виробники, сміттярі (падальники) і декомпозери, кожен з яких виконує свою функцію. Усі

рослини і тварини потребують їжі, яка забезпечує енергію, необхідну для їх життя. Зелені рослини виробляють харчування, яке зберігається в коренях, стеблах і листках. Тварини не можуть самостійно виробляти їжу і тому харчуються рослинами або тваринами. Сміттярі – це тварини, які їдять мертвих тварин або падалі і допомагають розкласти органічний матеріал на більш дрібні шматочки. Декомпозери – це організми, які поглинають мертві тканини рослин і тварин та повертають поживні речовини в ґрунт для забезпечення нового росту. Азот, вуглець та інші поживні речовини можуть потім знову використовуватися рослинами і тваринами. У природному харчовому ланцюзі, коли екосистемна функція сміттяря виконана, в дію вступає декомпозер і завершує роботу з переробки матеріалів. Процес розкладання в біологічній екосистемі визначається як поступовий розпад мертвої органічної речовини, що супроводжується вивільненням енергії, перетворенням елементів з органічної на неорганічну форму (Begon, Harper, Townsend, 1986).

У промислових екосистемах ролі підприємств можуть бути визначені таким самим чином, як і в біологічних, – відповідно до функціонального призначення та трофічного рівня: виробники, споживачі, сміттярі та декомпозери. Основні виробники представляють ті галузі, які добувають матеріали за допомогою видобутку, буріння та збору врожаю з поверхні Землі, щоб забезпечити сировиною інші галузі. Галузі, які використовують сировину від виробників для створення вторинної сировини, є вторинними виробниками. Тобто це переробні виробництва, які переробляють сировину в готові матеріали та продукти. Сміттярі перерозподіляють ресурси (які інакше були б витрачені даремно) назад підприємствам, які можуть повторно використовувати матеріали. Вони полегшують роботу декомпозерів. При зборі використаних матеріалів компанії розбирають, сортують і транспортують матеріали до декомпозерів у формі, доступній для їх спожив-

вання. Декомпозери – це компанії, які використовують ресурси відходів як від виробників, так і від споживачів і перетворюють або переробляють їх назад у промислову екосистему як нові матеріали, придатні для забезпечення процесів виробництва (Geng, 2002, с. 335-336).

Стимулювання створення та успішної діяльності різних підприємств і установ, спеціалізованих на утилізації сміття, та декомпозерів, що забезпечують споживання відходів і перетворюють їх на сировину, придатну для подальшого використання, підвищує стійкість промислових екосистем.

Географія промислових екосистем в умовах цифровізації

Промислові екосистеми зазвичай організовані навколо ланцюжків поставок продуктів або матеріалів в обмеженому географічному просторі (Boons, Baas, 1997, с. 83). Географія виробництва, що змінюється під впливом досягнень Індустрії 4.0 і поширення новітніх цифрових технологій, робить більш важким визначення «реальних кордонів» національної або регіональної системи. Завдяки цим технологіям світ стає гіперзв'язаним, тобто цифрові зв'язки стають усе більш широкими та швидкими, забезпечуючи платформу кожній галузі для підвищення продуктивності та інновацій. Зокрема, виробники товарів та інші промислові підприємства можуть виконувати високоточні, високопродуктивні та значною мірою автоматизовані операції з використанням комерційних і приватних мереж 5G, що гарантують дуже малий час відгуку мережі (мілісекунди) (Grijpink, Kutcher, Ménard та ін., 2020).

Національні та регіональні кордони залишаються корисною відправною точкою для визначення найбільш значимих меж промислової екосистеми, але вимагають різних критеріїв. З точки зору екосистемного підходу географічні кордони екосистеми визначаються процесами створення вартості. Гравець, який бере участь у

створенні пропозиції або попиту, вважається невід'ємною частиною екосистеми незалежно від того, чи знаходиться він в певних географічних межах регіональної системи (Andreoni, 2018, с. 5). Географічні межі промислової екосистеми визначаються взаємозалежними зв'язками підприємств та організації в рамках екосистеми і новими зв'язками, які зміцнюються за її межами за допомогою процесів створення вартості. Такий динамічний підхід контрастує з «відносно статичним», який пропонується в рамках поняття «регіональна промислова система» (Reynolds, Uygun, 2017, с. 2).

Географічні кордони екосистеми змінюються у процесі решорингу (ніашорингу), коли компанії прагнуть до географічної близькості й доступу до нових технологій. Підприємства, які впроваджують провідні виробничі та цифрові технології, потребують кваліфікованої робочої сили і доступу до інноваційної інфраструктури, які часто відсутні або недостатні в країнах, що розвиваються (Tate, Ellram, Schoenherr et al., 2014); Fung, Korinek, 2013, с. 170). Це змушує виробничі підприємства повернутися до «рідної» економіки. Компанії прагнуть скоротити ланцюжки створення вартості та приймають стратегію решорингу під впливом нової виробничої моделі, заснованої на цифрових технологіях, автоматизації та роботизації, а доступ до відповідних навичок і технологічних можливостей легше отримати у країнах із розвинутою економікою (Fung, Korinek, 2013, р. 170). Розповсюдження коронавірусної інфекції COVID-19 прискорило процеси деглобалізації промисловості. Для уникнення залежності від постачання багатьох товарів першої необхідності в деяких країнах поновлюється увага до переривання ланцюгів поставок і стимулювання вітчизняного виробництва (Haass, 2020).

Таким чином, рівень розвитку і спеціалізація промислових екосистем не є константами. Зокрема, у рамках даного географічного простору галузеві кордони постійно перевизначаються виробничо-збуто-

вими ланцюжками, що об'єднують різні підприємства, завдяки «генетичним мутаціям» (Andreoni, 2018, с. 5). Наприклад, компанія General Electric – американський багатонаціональний конгломерат, зареєстрований у Нью-Йорку зі штаб-квартирою в Бостоні, який традиційно спеціалізується на виробництві важкої промислової техніки, авіаційних і силових двигунів, усе більше стає провідною цифровою компанією з розробки промислових датчиків і програмного забезпечення, мехатроніки і цифрових систем, технологічних платформ для промислового інтернету. У результаті змінюється спеціалізація пов'язаних із діяльністю цієї компанії промислових екосистем, які розташовані в різних регіонах світу.

Типи національних промислових екосистем

Промислові екосистеми відрізняються за рівнем (локальний, регіональний, національний, наднаціональний) (Солдак, 2019), розміром (масштабом), домінуючими технологіями, наукоємністю, екологічними наслідками тощо. Виходячи з мети даної роботи найбільший інтерес становить насамперед національний рівень промислових екосистем. І це природньо, оскільки саме національні юрисдикції визначають історично сформовані межі прав регулювання людської діяльності, у тому числі екологічної.

Кожна національна промислова екосистема є унікальною (як унікальними є окремі живі організми), але між ними існують також спільні властивості, що дає об'єктивні підстави для виокремлення їх характерних типів. Таке узагальнення має велике значення для правильного розуміння спільних проблем і можливостей розвитку національних промислових екосистем, структуризації та коректного використання досвіду їх функціонування.

Для виявлення типів національних промислових екосистем обрано 68 країн, які розташовані у різних регіонах світу,

належать до різних соціокультурних традицій і мають більш або менш розвинуту промисловість. Показники, що характеризують ці країни, підібрано таким чином, щоб вони характеризували розмір (масштаб) промислових екосистем, їх трудомісткість і наукоємність (виходячи з того, що завдяки новим цифровим технологіям виробництво стає менш трудомістким і більш наукомістким) та екологічність:

V_k – розмір промислової екосистеми – показник доданої вартості, створеної у промисловості k -ї національної економіки, млрд. поточних дол. США;

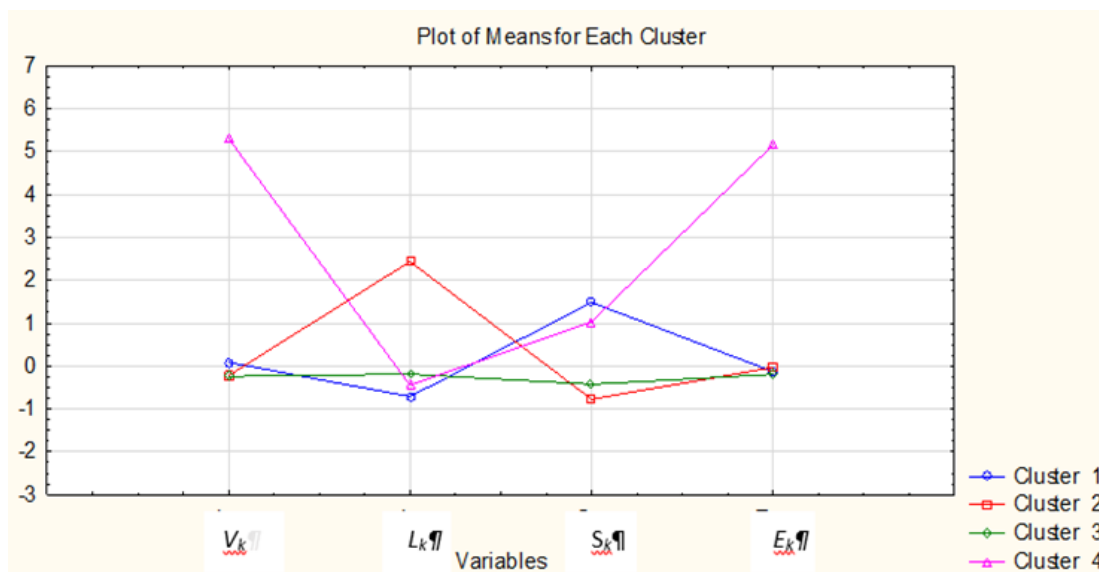
L_k – трудомісткість промислової екосистеми – відношення кількості зайнятих у промисловості до доданої вартості, створеної у промисловості k -ї національної економіки, осіб/млн поточн. дол. США;

S_k – наукоємність промислової екосистеми – відношення видатків на дослідження та розробки до доданої вартості, створеної у промисловості k -ї національної економіки, поточн. дол. США /100 поточн. дол. США;

E_k – екологічність промислової екосистеми, або показник викидоємності – відношення викидів CO₂ (CO₂ emissions, kt) до доданої вартості, створеної у промисловості k -ї національної економіки, тис. т/млрд поточн. дол. США.

Результати дисперсійного аналізу, виконаного в пакеті програм STATISTICA, свідчать про важливість усіх чотирьох показників – вони беруть значущу участь у групуванні національних економік. Серія статистичних досліджень за методами Варда та k -середніх показала, що виокремлені кластери можуть становити статистичну базу подальшого дослідження типів промислових екосистем.

Середні показники (у стандартизованому вимірі) для кожної групи країн наведено на рис. 1, а статистичні характеристики показників вибірки та склад кожної групи – в табл. 1.



Джерело: складено автором за власними розрахунками.

Рисунок 1 – Співвідношення даних за кластерами національних промислових екосистем

Таблиця 1 – Статистичні характеристики показників вибірки та склад груп національних промислових екосистем¹

Значення	V_k , млрд. поточн. дол. США	L_k , осіб/млн поточн. дол. США	S_k , поточн. дол. США /100 поточн. дол. США	E_k , тис. т / млн поточн. дол. США
1	2	3	4	5
Перша група (n=15) Європа (Австрія, Бельгія, Швейцарія, Німеччина, Данія, Фінляндія, Франція, Велика Британія, Ізраїль, Нідерланди, Швеція); Азіатсько-Тихоокеанський регіон (Австралія, Японія, Республіка Корея, Сінгапур)				
Середнє	225,8	10,2	12,4	27,2
Максимальне	1419,3	13,6	24,8	268,8
Мінімальне	62,0	5,8	8,0	0,6
Друга група (n=8) Європа (Україна); Середня Азія (Киргизька Республіка, Таджикистан, Узбекистан); Африка (Ефіопія); Азіатсько-Тихоокеанський регіон (Індія, В'єтнам, Пакистан)				
Середнє	23,3	214,4	1,0	18,4
Максимальне	702,4	277,9	2,5	569,8
Мінімальне	1,9	161,0	0,4	1,3
Третя група (n=43) Європа (Чехія, Болгарія, Іспанія, Естонія, Греція, Хорватія, Угорщина, Італія, Литва, Латвія, Норвегія, Польща, Португалія, Румунія, Сербія, Словенія, Словаччина, Північна Македонія, Грузія, Туреччина); Євразія (Азербайджан, Вірменія, Білорусь, Казахстан, Російська Федерація, Молдова); Америка (Бразилія, Чилі, Колумбія, Перу, Куба, Мексика, Парагвай, Уругвай); Африка (Алжир, Єгипет, Південна Африка); Середній Схід (Іран, Ірак, Кувейт); Азіатсько-Тихоокеанський регіон (Індонезія, Нова Зеландія, Таїланд)				

1	2	3	4	5
Середнє	42,0	37,8	2,0	14,1
Максимальне	482,9	106,3	7,5	409,9
Мінімальне	2,1	4,5	0,1	0,7
Четверта група (n=2)				
Китай, США				
Середнє	4172,0	20,3	9,1	1665,5
Максимальне	4905,9	46,2	15,5	2341,2
Мінімальне	3547,9	8,9	5,4	1184,8

¹ Складено автором згідно з власними розрахунками за даними (World Bank, 2020a; World Bank, 2020b; World Bank, 2020c; World Bank, 2020d; Федеральная служба государственной статистики, 2018, с. 85; ILO, 2019).

Представлене групування країн не є беззаперечним і єдино можливим. Наведені результати розрахунків не враховують багатьох якісних аспектів розміщення і розвитку національних економік у глобальній промисловій екосистемі в умовах цифровізації, у тому числі пов'язаних із формуванням нових бізнесових і соціальних інститутів. Тим не менш обрані для аналізу показники також дають можливість простежити певні загальні тренди розвитку промислових екосистем.

За результатами кластеризації до **першої групи** потрапили розвинуті країни Європи та Азіатсько-Тихоокеанського регіону, які є локомотивами світової економіки. Вони мають відносно високі показники обсягів створеної у промисловості доданої вартості (максимальне значення належить Японії – 1419 млрд дол, мінімальне – Фінляндії – 62 млрд дол). Трудомісткість у промисловості по цій групі є характерно низькою, а наукомісткість – високою. Так, за першим показником лідирує Швейцарія – 5,8 зайнятого у промисловості на 1 млн дол., за другим – Ізраїль, де на кожні 100 дол. доданої вартості, створеної у промисловості, припадає 24,9 дол. витрат на дослідження та розробки.

Цифрова глобалізація дає переваги країнам із найвищим рівнем розвитку таких високотехнологічних секторів промисловості, як аерокосмічне обладнання, робототехніка, автомобілебудування, медичне обладнання, інженерна, дизайнерська та

науково-експертна діяльність. За індексом конкурентоспроможності промисловості (Competitive Industrial Performance – CIP), що розраховується ЮНІДО, розвинуті країни продовжують утримувати провідні позиції в світі. До групи топ-10 за цим індексом входять країни першого та четвертого кластерів (за виключенням Тайваню та Ірландії, які не ввійшли до вибірки). Їх рейтинг станом на 2017 р. був таким: Німеччина (коефіцієнт 0,471), Китай (0,372), Республіка Корея (0,349), США (0,345), Японія (0,344), Ірландія (0,330), Швейцарія (0,303), Тайвань (0,284), Сінгапур (0,259), Нідерланди (0,202) (UNIDO, 2020, с. 14).

Друга група складається з восьми країн, серед яких Україна. Вона є єдиним представником Європи (з числа наведених у вибірці) у цій групі. Кластер характеризується найнижчим показником створеної у промисловості доданої вартості – 23 млрд дол. (максимальне в Індії – 702 млрд дол., мінімальне у Таджикистану – 2 млрд дол.), найвищою трудомісткістю виробництва (у середньому у 20 разів вище аналогічного показника по першій групі країн) та найменшими витратами на R&D. У середньому в країнах цієї групи витрати на дослідження та розробки складають тільки 1 дол. на кожні 100 дол. доданої вартості, створеної у промисловості.

Серед країн цієї групи значно виділяється Індія. За показником обсягу створеної у промисловості доданої вартості її економіка поступається лише двом країнам

першої групи – Японії та Німеччині. Однак висока трудомісткість (161 осіб на 1 млн дол.) та відносно низька наукомісткість продукції (2,5 дол. на 100 дол. доданої вартості) унеможливають віднесення Індії до групи промислово розвинутих країн, хоча розвиток національної інноваційної системи є пріоритетним для неї. Східно-азійська модель розвитку економіки відводить державі провідну роль у підтримці та фінансуванні інновацій. В Індії прийнято національну стратегію розвитку науки і технологій, а пріоритетними галузями визначено біотехнології, авіакосмічну галузь, фармацевтику, інформаційні технології, атомну енергетику і дослідження Світового океану. Національні витрати на наукові дослідження та дослідно-конструкторські роботи збільшилися втричі – з 5 млрд дол. у 2004-2005 рр. до 15 млрд у 2016-2017 рр. При цьому витрати на НДДКР відносно ВВП у 2016-2017 рр. склали 0,75%, а до 2020 р. їх планувалося збільшити до 2% ВВП (Андропова, Бокачев, 2019, с. 38, 39).

Третя група є найбільш численною і налічує 43 країни зі всіх макрорегіонів світу. Середнє значення створеної у промисловості доданої вартості складає 42 млрд дол. (максимальне в Росії – 482 млрд дол., мінімальне у Молдови – 2,1 млрд дол.). Трудомісткість у країнах цієї групи є відносно високою: на 1 млн дол. доданої вартості в середньому припадає 38 зайнятих у промисловості (максимальне значення належить Північній Македонії – 106 осіб, мінімальне – Норвегії – 5 осіб на 1 млн дол.). Витрати на дослідження та розробки є відносно низькими і в середньому складають 2 дол. на 100 дол. доданої вартості, створеної у промисловості.

Четверта група охоплює лише дві країни – індустріальних гігантів США та Китай. Розмір їх промислових екосистем значно переважає інших лідерів промислового виробництва. Найбільша додана вартість у промисловості створена економікою Китаю – 4906 млрд дол. у 2017 р. Однак за середнім показником наукоємності промислової екосистеми США та Китай по-

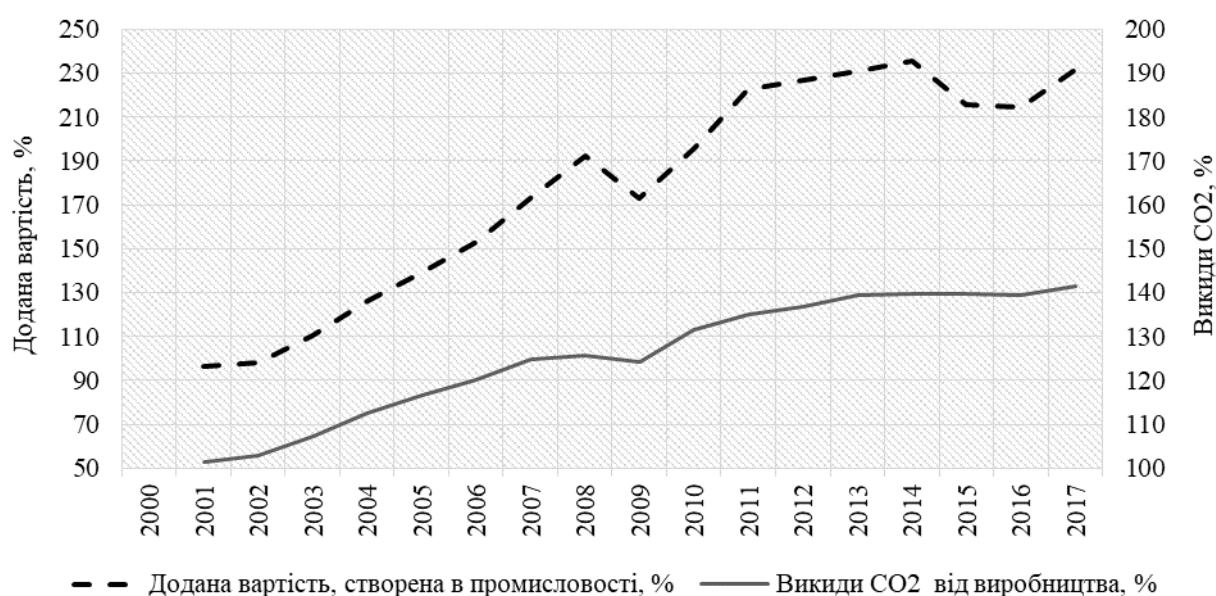
ступаються деяким країнам-лідерам світової економіки. За цим показником Китай можна порівняти з Чехією або Угорщиною (5,4 та 5,3 дол. на 100 дол. відповідно), які входять до третьої групи, а США поступається лише країні першої групи – Ізраїлю, при значенні показника майже на рівні Швеції (15,5 дол. у США і 15,4 дол. у Швеції). Економіки США та Китаю суттєво відрізняються і за трудомісткістю. Якщо американській промисловості для створення 1 млн дол. доданої вартості у 2017 р. знадобилося лише 9 зайнятих у цьому виді діяльності, то китайській – 46. Це в межах значення за відповідним показником Парагваю, Румунії та Росії (49, 45 та 43 особи/млн дол. відповідно), які входять до тієї ж третьої групи. Отже, за якісними показниками промислової екосистеми Китай більше відповідає третій групі, а США – першій. Тим не менш очевидно, що найближчі десятиліття саме ці дві країни визначатимуть промислове й екологічне майбутнє всієї планети.

При збереженні світового лідерства розвинутих економік за якісними характеристиками, перш за все за продуктивністю праці та питомими витратами на R&D, Китай вийшов у лідери за динамізмом зростання, накопиченими фінансовими резервами, масштабами та швидкістю структурних перетворень. Натомість проривні інновації в економіці та промисловості, що відкривають найбільші можливості вирішення ресурсних й екологічних проблем, усе ще в основному надходять із-за кордону і не є продуктом національної інноваційної системи Китаю (Іванова, Мамедьяров, 2019, с. 49). Тому для подальшого прискорення розвитку керівництвом країни було прийнято програму «Made in China 2025», що спирається на досвід німецького плану «Індустрія 4.0» і містить ідею активного застосування інструментів інформаційних технологій у виробництві. При цьому зусилля Китаю є набагато ширшими, оскільки ефективність і якість китайських виробників поки що сильно відрізняються від німецьких. Керівні принципи документа

полягають у тому, що національне виробництво має бути орієнтоване на інновації, якість, екологічність, оптимізацію структури китайської промисловості та заохочення людських талантів. Метою стратегії є всебічна модернізація китайської промисловості, яка має стати більш ефективною та інтегрованою, такою, що займає вищі ланки глобальних виробничих ланцюжків (Kennedy, 2015).

Одними з ключових питань сучасного індустріального розвитку є такі: чи стає промислове виробництво більш дружнім до навколишнього середовища та чи спри-

яють нові технології забезпеченню екологічності процесу виробництва? Отримати близьку до реальності відповідь можна через порівняння швидкості зростання викидів із зростанням доданої вартості у промисловості. Графік на рис. 2 демонструє, що у 2000-2017 рр. викиди у світі зростали за схожою з доданою вартістю траєкторією, але повільніше (масштаб правої осі є меншим). Отже, промислове зростання поступово стає менш викидоємним завдяки витісненню вуглецеємного виробництва та/або підвищенню енергоефективності (WWF России, 2004).



Джерело: розраховано за даними (World Bank, 2020a; OESD, 2019).

Рисунок 2 – Порівняння темпів зростання викидів CO₂ від виробництва та доданої вартості, створеної у промисловості, % до 2000 р.

Однак така ситуація характерна не для всіх національних промислових екосистем.

Запропоновані кластери значно відрізняються за показником викидоємності. За середнім значенням у порядку убывання групи країн розташовані таким чином: четверта (США і Китай), перша (промислово розвинуті країни), друга та третя: 1666, 27, 18 та 14 тис. т/млн дол. відповідно. Разом із тим у межах груп значення показників та-

кож коливаються. У першій групі як «забруднювачі» виступають Японія (269 тис. т/млн дол.) та Німеччина (172), у другій – Індія (570), у третій – Росія (410 тис. т/млн дол.). А найбільш викидоємними є промислові екосистеми Китаю та США – 2341 і 1185 тис. т/млн дол. відповідно. Обидві країни четвертого кластера несуть відповідальність за більшу частину забруднення у світі через викиди CO₂. Так, у 2019 р. на Китай і США припадало 28 і

15% викидів відповідно (BP Statistical Review of World Energy 2019, 2019, с. 57).

У Китаї промисловий сектор є основним джерелом споживання енергії та викидів вуглецю. Через невисокий середній технологічний рівень обробної промисловості Китаю на неї припадає близько 60% загального споживання енергії та більше 50% від загальної кількості викидів CO₂ (Ma, Liu, Ren et.al, 2019, с. 2). Переробна промисловість Китаю продовжуватиме нарощувати обсяги виробництва й надалі, що призведе до збільшення викидів вуглецю (Tian, Xiong, Ma et.al, 2018, с. 20).

Разом із збільшенням обсягів промислового виробництва в Китаї зростає споживання такого енергоносія, як вугілля. Воно розглядається як зручний і доступний ресурс, що забезпечує національну енергетичну безпеку та підтримує економічне зростання. Металургійна і цементна промисловість є найважливішими споживачами даного ресурсу, і саме в цих галузях Китай є найбільшим у світі виробником. Китай продовжує залишатися основним споживачем вугілля у всьому світі – 2,9 млрд т вугільного еквіваленту (в.е.), що становить більше половини світового споживання. Індія посідає друге місце (585 млн т в.е.). США та ЄС є лідерами поступової відмови від вугілля; обидві країни досягли у 2019 р. свого мінімального рівня споживання за останні роки, але все ще є третім і четвертим світовими споживачами вугілля у світі (397 та 253 млн т в.е. відповідно). На ці чотири ринки припадає три чверті світового споживання вугілля (IEA, 2020).

Така інформація має важливе екологічне значення у зв'язку з відомими негативними наслідками виробництва та споживання вугілля для довкілля. Ця копалина залишається в центрі міжнародних дискусій з приводу енергетичної та екологічної політики. У багатьох країнах відхід від використання вугілля при виробництві електроенергії є основною метою екологічної політики, спрямованої на зменшення обся-

гу викидів парникових газів. Лідери країн Євросоюзу у 2019 р. домовилися повністю припинити викиди парникових газів до 2050 р. (за винятком Польщі, яка значною мірою залежить від вугільної промисловості та буде досягати кліматичної нейтральності «у власному темпі»).

Оцінити збалансованість взаємодії промислових екосистем, що використовують вугілля, з біологічними можна за допомогою показника питомої площі екологічного сліду, що припадає на споживання вугілля.

Як відомо, екологічний слід (англ. Ecological footprint) являє собою ступінь впливу людини на середовище існування, який визначається через площу території, необхідної для отримання споживаних екологічних ресурсів і поглинання відходів. Екологічний слід характеризує тиск людини на довкілля. Він вимірюється у глобальних гектарах (гга, gha). Чим більше ми споживаємо ресурсів, тим більший екологічний слід залишаємо.

Щодо показника питомої площі екологічного сліду, то він базується на ідеї, висунутій у рамках дослідження Інституту економіки промисловості НАН України «Енергетична складова якості життя населення», результати якої опубліковано в роботі (Череватський, 2020).

У фізиці існує поняття поверхневої щільності, яка характеризує відношення маси речовини (матеріалу) до певної площі. Тобто така щільність відображає насиченість певної площі матеріалом речовини. Аналогічно поверхнева щільність показника Footprint характеризує насиченість екологічного сліду матеріалом вугілля або, іншими словами, його вуглемісткість:

$$\rho_{FP} = \frac{C_k}{FP_k}.$$

Зворотна величина – питома (за вугіллям) площа Footprint:

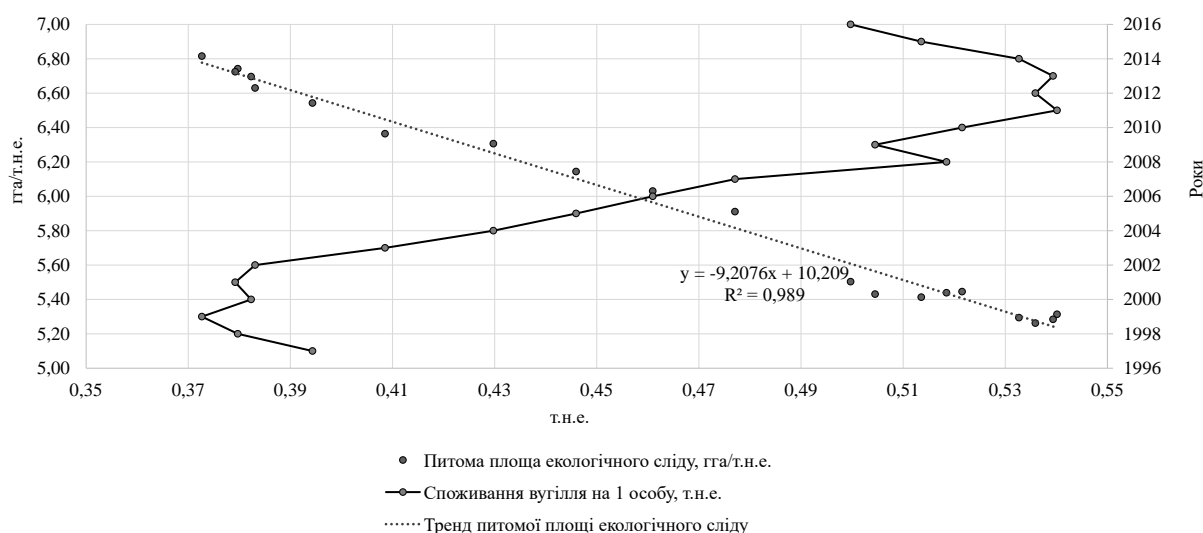
$$1/\rho_{FP} = \frac{FP_k}{C_k},$$

де ρ_{FP} – поверхнева щільність Footprint k -ї національної економіки; FP_k – показник Footprint k -ї національної економіки; C_k – споживання вугілля k -ю промисловою екосистемою.

Тобто питома (за вугіллям) площа Footprint характеризує розміри екологічного сліду, що припадає на споживання 1 т

вугілля. При цьому чим більше питома площа, тим гіршими є екологічні наслідки споживання вугілля.

Наведений на рис. 3 графік характеризує питому (за вугіллям) площу екологічного сліду у світі порівняно з динамікою споживання вугілля (у тоннах нафтового еквіваленту – т н.е.).



Джерело: складено автором згідно з власними розрахунками за даними: (Human Development Index and Ecological Footprint, 2016; BP Statistical Review of World Energy – 2019, 2019, с. 45; BP Statistical Review of World Energy, June 2009, 2009, с. 34; World Bank, 2020e).

Рисунок 3 – Динаміка споживання вугілля у світі і питома площа Footprint по країнах світу

Важливим є той факт, що питома площа Footprint і споживання вугілля тісно пов'язані, але ця залежність є непрямою. Дійсно, останні десятиліття всупереч заявленим намірам характеризувалися тенденцією до збільшення виробництва та споживання вугілля у світі, яка змінилася зворотним трендом тільки з 2013 р. Проте більшому споживанню вугілля відповідає менша питома площа екологічного сліду. Це свідчить про суттєвий прогрес у розвитку «чистих» технологій видобутку та споживання цього важливого енергоресурсу.

Ситуація виглядає дещо по-іншому, якщо її розглядати в розрізі окремих кластерів промислових екосистем (табл. 2).

Показник екологічного сліду суттєво відрізняється в різних кластерах. У країнах, що розвиваються (це переважно другий кластер) він складає в середньому 1,97 гга на душу населення. У цьому кластері найнижчий показник споживання вугілля на душу населення дорівнює 0,17 т н.е. на особу, а питома площа Ecological Footprint є відносно низькою. Але це (як буде показано далі) свідчить не про екологічність розвитку цих країн, а про те, що вони є відносно бідними, а отже, менше виробляють і споживають ресурсів.

Таблиця 3 – Середні значення показників, що характеризують екологічний слід споживання вугілля за кластерами промислових екосистем¹

Кластер	Середній екологічний слід, гга/особу	Середнє споживання вугілля, т н.е./особу	Середня питома площа екологічного сліду, гга / т н.е.	У розрахунку на подушний ВВП		
				екологічний слід, гга/тис. дол.	споживання вугілля, т н.е./ тис. дол.	питома площа екологічного сліду, гга / (т н.е. × тис. дол. / особу)
1	4,30	0,36	12,6	0,09	0,01	0,24
2	1,97	0,17	9,4	0,25	0,03	1,47
3	3,15	0,20	16,0	0,14	0,01	0,71
4	5,41	1,20	4,5	0,19	0,04	0,16

¹ Складено автором за власними розрахунками.

У розвинутих країнах, які в основному входять до першого кластера, екологічний слід є більшим і становить 4,3 гга на одну особу, а одна особа споживає вдвічі більше вугілля, ніж у країнах другого кластера. А найбільші питомі обсяги вугілля споживають країни четвертого кластера – Китай та США (понад 1 т н.е. на особу). Показник питомого Footprint США є одним із найбільших серед країн світу – понад 8 гга на особу, а Китаю значно менший – 3,6 (це пояснюється високою кількістю населення КНР). Споживання вугілля в цих економіках значно перевищує показники за першими трьома кластерами: у 3,7 та 6 разів відповідно.

Розрахунки за кластерами, наведені в табл. 3, підтверджують загальновідомий факт: чим вищими є досягнення в соціально-економічному розвитку, тим інтенсивнішим є споживання ресурсів, але завдяки використанню провідних технологій його негативні наслідки можна, принаймні частково, компенсувати. Натомість низький показник екологічного сліду, невисокий рівень споживання вугілля та, відповідно, відносно невисока питома площа екологічного сліду у країнах другого кластера не є свідченням ефективної екологічної політики, а зумовлені низьким рівнем виробництва та споживання, що знаходить відображення в показнику доданої вартості. Середній ВВП країн другого кластера за паритетом купівельної спроможності на душу населення у 2016 р. був у $\approx 2,4$ рази менше за середній у світі (6,5 тис. дол. на душу

населення у другому кластері, 15,6 тис. дол. у світі) (World Bank, 2020f). З урахуванням цього чинника виявляється, що питомий екологічний слід країн другого кластера, до якого віднесено Україну, є дуже високим – 0,25 гга/тис. дол. на особу, тобто майже утричі більше, ніж у розвинутих країнах (у першому кластері). Питома площа екологічного сліду в розрахунку на тис. дол. за подушним споживанням вугілля у країнах другого кластера у 6, 2 та 9 разів відповідно перевищує аналогічні показники по першому, третьому та четвертому кластерах. Забезпечення життєдіяльності людини у промислових екосистемах країн, що розвиваються, у розрахунку на 1 дол. доходів обходиться планеті ціною суттєво більшого питомого екологічного сліду. Отже, якщо економічне зростання в цих країнах відбуватиметься без суттєвого поліпшення виробничих технологій, то це загрожуватиме глобальною екологічною катастрофою. Тому розвиток смарт-промисловості та сучасних цифрових технологій, які можуть пом'якшити екологічні проблеми людства, важливо вивести за вузьке коло країн-«чемпіонів», поширивши його також на економіки, що розвиваються, й емерджентні, які демонструють тепер випереджаючі темпи зростання.

Особливості промислової екосистеми України

Для сучасного стану промислової екосистеми України характерним є падіння

обсягів виробництва й інвестицій, переважання у структурі капітальних вкладень низькотехнологічних галузей та галузей із низьким ступенем технологічної обробки продукції, яка користується попитом на внутрішньому та зовнішньому ринках. Відносно стабільно інвестується головним чином виробництво внутрішньоорієнтованих галузей, які задовольняють життєво важливі потреби населення в основних продуктах харчування, серед яких алкоголь і тютюн, а також фармацевтична промисловість. Серед високо- і середньо-високотехнологічних галузей тільки остання демонструвала зростання обсягів інвестицій, решта (машинобудування, хімічне виробництво, виробництво коксу та продуктів нафтопереробки) – зазнали значного падіння.

Можливості стабільного розвитку національної промислової екосистеми та зменшення її негативного впливу на довкілля, окрім техніко-технологічних й інвестиційних чинників, пов'язані насамперед із інноваційною культурою підприємців і в цілому сприятливим інституційним середовищем. Їх створення та подальший розвиток є еволюційним процесом, під час якого формуються відповідні інститути й організаційні рутини, у результаті чого індустрія отримує шанс для переходу на більш високий технологічний рівень. Сьогоднішні відмінності у використанні сучасних цифрових технологій відображають глобальну неоднорідність світового промислового потенціалу: країни-лідери мають великий виробничий потенціал, а тому розвивають використання технологій провідного цифрового виробництва (програмні платформи, промисловий Інтернет речей, аналіз великих даних, штучний інтелект, колаборативні роботи, адитивне виробництво тощо). Інші країни використовують технології, які є типовими для третьої або другої промислової революції (UNIDO, 2019, с. 4), у результаті чого збільшується відстань між країнами в технологічному розвитку (Вишневецький, Гаркушенко, Князев, 2020, с. 11).

Україна, як відзначено вище, характеризується відносно низьким рівнем технологічного розвитку. Її виробничий потенціал складається переважно з видів діяльності, які за рівнем наукомісткості належать до низьких (53,2%) і середньо-низьких (35,1%) технологій (Якубовський, Солдак, с. 38). Протягом останніх десятиліть було втрачено цілі галузі, передусім інноваційного спектру діяльності – електронну промисловість, приладо-, верстатобудування, виробництво автомобільної та сільгосптехніки, спеціальні види машинобудування для гірничорудної хімічної та металургійної промисловості. У занепаді перебувають літакобудування і космічна галузь.

Не такою провальною є ситуація у сфері цифрової економіки (Вишневецький, Чекіна, Гаркушенко та ін., с. 110-116), але сама по собі, без розвитку промисловості, вона мало чого варта. Крім того, «підтягнути» індустрію за допомогою цифрової трансформації не так просто, адже скопіювати або купити нові виробничі технології та навчити персонал – це ще не є вирішенням проблеми. В Україні іноземне інвестування у виробництво навіть високотехнологічної продукції¹ не розвиває принципово нові компетенції в інженерно-технічному персоналу та робітників. Зазвичай компанії «заходять» зі своєю технологією, навчають персонал, що на практиці створює прив'язку регіонального виробництва до технологічної схеми в рамках іноземної компанії.

Високі технології є інструментом, що дозволяє країні, яка ними володіє, отримувати додаткові доходи у вигляді «технологічної ренти», які можна інвестувати у підтримку технологічного лідерства. Наявність розвинутого національного сектору

¹ Відносно висока частка інвестування у високо- та середньо-високотехнологічні виробництва в Закарпатській та Львівській областях обумовлена такими конкурентними перевагами, як дешева робоча сила та близькість до європейських кордонів. Завдяки цьому іноземні компанії відкривають у даних регіонах підприємства переважно з викруткового складання продукції (Soldak, Shamileva, 2018, с. 36).

досліджень та розробок, який пов'язує фундаментальну та прикладну науку з виробництвом, є необхідною умовою формування високого рівня технологічного розвитку. В Україні з цим великі проблеми (Гесць, ред., 2018; Вишневецький, Князєв, 2018). У результаті висока залежність від імпорту технологій стає ключовим чинником подальшого технологічного відставання України, закріплення за нею статусу «супутника» промислових екосистем високого рівня, такого статусу, що характеризується скороченням і без того незначних витрат на R&D, низькою продуктивністю промислового виробництва, основною конкурентною перевагою якої вважається близькість до європейських кордонів і дешева робоча сила.

Викидоємність промислової екосистеми України є високою і значно вищою, ніж середні показники в інших трьох групах країн.

У рейтингу запобігання кліматичним змінам (Climate Change Performance Index – CCPI 2020), який було представлено німецькою неурядовою організацією Germanwatch, Україна посіла 17 місце, посиливши свою позицію за один рік на один пункт. Однак таке гідне місце зумовлене не стільки успіхами державної кліматичної політики, скільки чинниками політичного й економічного характеру, що вплинули на розвиток промислової екосистеми. З 1990 р. в Україні відбулися економічний спад, деіндустріалізація та занепад промисловості, а згодом – і втрата значної частини промисловості через збройний конфлікт на Донбасі. У зв'язку з цим викиди вуглекислого газу в Україні скоротилися порівняно з 1990 р. майже в 4 рази (Державна служба статистики України, 2019).

Фахівці підсумовують: скорочення обсягу викидів парникових газів й енергоспоживання на душу населення пов'язане не стільки з ефективною кліматичною політикою, скільки з проблемами, викликаними конфліктом у вугільній та енергетичній сферах на Донбасі. Національні експерти критикують слабку кліматичну політику українського уряду, а саме його плани по-

етапної відмови від споживання вугілля. Цілі країни щодо скорочення викидів парникових газів до 2030 р. і цілі використання відновлюваних джерел енергії оцінюються ними як низькі (Germanwatch, 2020).

Нагального вирішення потребує проблема формування сучасної політики переробки промислових відходів. У зв'язку з реалізацією євроінтеграційної стратегії трансформація політики територіального розвитку має відбуватися на основі імплементації основних принципів поводження з відходами, зокрема Директиви 2006/21/ЄС про управління відходами добувної промисловості, в національне законодавство України, що прискорить реалізацію підписаної з ЄС Угоди про асоціацію.

У старопромислових регіонах України в результаті інтенсивного розвитку гірничодобувної та переробної промисловості утворилися місця скупчення промислових відходів – відвалів гірничодобувних підприємств, хвостосховищ збагачувальних фабрик, шлакозольних відвалів паливно-енергетичного комплексу, сховищ металургійного шлаку (Amosha, Lyakh, Soldak et al., 2018, с. 322]. Вони являють собою типові браунфілди (англ. *brownfields* – коричневі, іржаві поля) – занедбані території колишнього промислового використання, які є джерелами забруднення підземних вод, землі та повітря, що негативно впливає на здоров'я населення. Досягнення цілей Директиви разом з ефективною політикою щодо ревіталізації браунфілдів сприятиме вирішенню проблем старопромислових, зокрема шахтарських, регіонів.

У розвинутих країнах ревіталізація браунфілдів стала однією з головних проблем, пов'язаних із використанням земель, а жорсткі закони про захист ґрунтів стимулювали процеси у вирішенні проблем занедбаних територій. В Україні упорядкуванню техногенних ландшафтів і занедбаних промислових будівель перешкоджають: відсутність чітких національних цілей і стандартів, відповідно до яких мають діяти державні та приватні суб'єкти у сфері ревіталізації занедбаних територій; невідомість інструментів фінансування та

стимулювання процесів відновлення браунфілдів; відсутність єдиного реєстру занедбаних промислових територій, які мають бути ревіталізовані (Лях, Солдак, 2018, с. 189).

Для вирішення проблем ревіталізації занедбаних територій необхідне стимулювання на державному рівні циклічної моделі поведінки промислових підприємств, створення різноманіття компаній-сміттярів та декомпонентів. Це передбачає ідентифікацію перешкод, перш за все інституційного характеру, які гальмують упровадження зазначених ініціатив і розвиток механізмів, що узгоджують внутрішню мотивацію представників ділових кіл промисловості й решти секторів національної, регіональної та місцевої економіки, а також інших бенефіціарів, які отримують соціальні й екологічні вигоди від формування мережі промислових симбіозів (Лях, 2019, с. 106).

Отже, в цілому ситуація у промисловій екосистемі України є незадовільною. І останні тенденції розвитку національної індустрії не додають оптимізму (Міністерство розвитку економіки, торгівлі та сільськогосподарства України, 2020). Разом із тим саме тепер відкриваються нові можливості змінити ситуацію на краще, пов'язані з цифровою революцією та розвитком сучасних кіберфізичних технологій. Це, зокрема, обумовлено тим, що дані технології перебувають на початковому етапі свого життєвого циклу, а отже, найкращі рішення ще не відомі, так що кожний гравець поки що має свій шанс. Але для того, щоб ним скористатися, потрібно здійснювати проактивну промислову політику, розвивати набір відповідних умінь, знаходити «точки дотику» із західною, більш просунутою індустріальною спільнотою, оволодівати мистецтвом домовлятися та грати з нею на посилення.

Висновки

1. Досягнення цілей сталого розвитку неможливе без урахування специфічного для національних економік характеру взаємодії людини у процесі її промислової діяльності та природної екосистеми. Масштабне використання підпривних цифрових і

виробничих технологій, пов'язаних із поширенням смарт-промисловості (Індустрії 4.0), обумовлює принципові трансформації такої взаємодії. Це проявляється в інтенсифікації процесів формування та подальшого розвитку промислових екосистем як стійких мереж взаємопов'язаних різнопланових підприємств й установ, які ґрунтуються на відповідних виробничих технологіях, так що різним рівням розвитку домінуючих технологій відповідають різні за ступенем розвитку промислові екосистеми. Промислові екосистеми є аналогами біологічних екосистем, що складаються з економічних суб'єктів, середовища їх функціонування та системи зв'язків, завдяки яким здійснюється обмін речовин та енергії між ними, більш або менш інтенсивний, з більшими або меншими наслідками для довкілля.

2. Під впливом цифрових зв'язків, що стають усе більш широкими і швидкими, змінюється географія промислових екосистем. Компанії прагнуть скоротити ланцюжки створення вартості та приймають стратегії решорингу під впливом нової виробничої моделі, заснованої на цифрових технологіях, автоматизації та роботизації, а доступ до відповідних навичок і технологічних можливостей легше отримати в країнах із розвинутою економікою. Обумовлені поширенням смарт-промисловості процеси решорингу (ніашорингу) загострюють проблему нерівномірного розташування нових виробничих потужностей та призводять до реструктуризації раніше сформованих промислових екосистем. З'являються групи країн-лідерів нової індустріалізації, заснованої на сучасних «розумних» й екологічно чистих технологіях, і країн-аутсайдерів, які повільніше і гірше пристосовуються до нових технологічних змін і вимушені використовувати застарілі екологічно небезпечні технології.

Розповсюдження коронавірусної інфекції COVID-19 прискорило процеси деґлобалізації промисловості. Для уникнення залежності від постачання багатьох товарів першої необхідності в деяких країнах поновлюється увага до скорочення ланцюж-

ків поставок і стимулюється вітчизняне виробництво.

3. Промислові екосистеми відрізняються за рівнем (локальний, регіональний, національний, наднаціональний), розміром (масштабом), домінуючими технологіями, наукоємністю, екологічними наслідками тощо. Національні юрисдикції визначають історично сформовані межі прав регулювання людської діяльності, зокрема екологічної. Кожна національна промислова екосистема є унікальною (як і унікальними є окремі живі організми), але між ними існують також спільні властивості, що дає об'єктивні підстави для виокремлення їх характерних типів. Таке узагальнення має велике значення для правильного розуміння спільних проблем і можливостей розвитку національних промислових екосистем, структуризації та коректного використання досвіду їх функціонування.

4. Для виявлення типів промислових екосистем здійснено групування національних економік (68 країн) за розміром промислових екосистем (обсягами створеної у промисловості доданої вартості), їх трудо-, наукоємністю та екологічністю (викидами CO₂). У результаті кластерного аналізу встановлено, що безумовне лідерство за якісними характеристиками, перш за все за продуктивністю праці та витратами на R&D, належить промисловим екосистемам розвинутих країн Європи, Азіатсько-Тихоокеанського регіону та США. Хоча Китай статистично віднесено до тієї самої групи, що і США, він вийшов у лідери лише за обсягами доданої вартості, створеної у промисловості. За трудо- та наукоємністю промислової екосистеми показники Китаю відповідають тим країнам, які входять до кластера «наздоганяючих». Тим не менш очевидно, що найближчі десятиліття саме ці два індустріальних гіганти – США і Китай – визначатимуть промислове й екологічне майбутнє всієї планети.

Розвинуті країни використовують переваги новітніх ІКТ для досягнення цілей сталого розвитку шляхом упровадження досягнень цифрової революції у процеси

виробництва продукції та енергії, переробки відходів виробництва. Тому виокремлені кластери значно відрізняються за екологічністю. Як «забруднювачі» виступають країни, що представляють усі групи: з першої – Японія та Німеччина, із другої – Індія, із третьої – Росія. Промислові екосистеми Китаю та США несуть відповідальність за більшу частину забруднення у світі через викиди CO₂.

5. Запропоновано оцінювати збалансованість взаємодії промислових екосистем із біологічними за допомогою показника питомої (за вугіллям) площі екологічного сліду. Виконані розрахунки свідчать про те, що збільшення виробництва та споживання вугілля у світі в останні десятиліття супроводжувалося зменшенням питомої площі екологічного сліду. Тобто в цьому аспекті екологічна ситуація поступово змінюється на краще, що є закономірним, оскільки відображає прогрес у розвитку «чистих» технологій виробництва та споживання цієї корисної копалини. Разом з тим в окремих кластерах промислових екосистем ситуація є різною. З урахуванням різниці в обсягах виробництва ВВП на одну особу питомий екологічний слід країн другого кластера, до якого віднесено Україну, майже утричі більше, ніж у розвинутих країнах. Забезпечення життєдіяльності людини у промислових екосистемах країн, що розвиваються, у розрахунку на 1 дол. доходів спричиняє суттєво більший питомий екологічний слід. Отже, якщо економічне зростання в цих країнах відбуватиметься без суттєвого поліпшення виробничих технологій, то це загрожуватиме глобальною екологічною катастрофою.

6. У даний час Україна характеризується відносно низьким рівнем технологічного розвитку, високою наукоємністю промислового виробництва, падінням обсягів інвестицій, переважанням у структурі інвестування низькотехнологічних галузей та галузей із низьким ступенем технологічної обробки продукції, втратою цілих галузей, передусім інноваційного спектру діяльності. У результаті національна промислова екосистема має дуже обмежений

інноваційний потенціал, на основі якого формуються відповідні інститути, організаційні рутини і промислова культура учасників процесу виробництва, а низький рівень витрат на R&D і залежність національної індустрії від імпорту технологій консервує подальше технологічне відставання України. Разом з тим національна промислова екосистема зберігає певні можливості зміни ситуації на краще за рахунок упровадження у співпраці з європейськими партнерами нових цифрових і кіберфізичних технологій, які сприятимуть вирішенню проблем, у тому числі екологічних.

7. Показник екологічності промислової екосистеми, представлений як відношення викидів CO₂ до доданої вартості, створеної у промисловості, в Україні є порівняно високим. Експерти констатують факт слабкої кліматичної політики, а поступове скорочення обсягу викидів парникових газів, починаючи з 1990 р., пов'язане, переважно, із процесами деіндустріалізації економіки. Нагального вирішення потребує проблема формування сучасної політики у сфері ревіталізації занедбаних територій, колишнього промислового використання, зокрема у сфері переробки промислових відходів. Відсутність чітких національних цілей і стандартів, відповідно до яких мають діяти державні та приватні суб'єкти, невизначеність інструментів фінансування та стимулювання цих процесів, відсутність єдиного реєстру занедбаних промислових територій – усе це гальмує вирішення багатьох екологічних проблем. З метою забезпечення сталого розвитку національної промислової екосистеми необхідне створення інститутів, які б стимулювали на державному рівні циклічну модель поведінки промислових підприємств, а також різноманіття компаній-сміттярів і декомпозерів, використання та поширення нових цифрових технологій у виробництві й енергетиці.

Розробка більш конкретних рекомендацій, з урахуванням можливостей адаптації успішного досвіду країн-лідерів у сфері розвитку сучасної смарт-промисловості, є

перспективним напрямом подальших досліджень.

Література

- Андропова И., Бокачев И. (2019). Государственная поддержка науки, технологий и инноваций в Индии. *Мировая экономика и международные отношения*. Т. 63. № 11. С. 38-45. doi: <http://doi.org/10.20542/0131-2227-2019-63-11-38-45>
- Вишневский В. П. (ред). (2019). Смарт-промисловість: напрями становлення, проблеми і рішення: монографія. За ред. В. П. Вишневського; НАН України, Ін-т економіки пром-сті. Київ. 464 с. (електронне видання). URL: <https://iie.org.ua/monografiyi/smart-promislovist-naprjamistanovlennja-problemi-i-rishennja/> (дата звернення: 20.07.2020).
- Вишневський В. П., Гаркушенко О. М., Князев С. І. (2020). Технологічні розриви: концепція, моделі, шляхи подолання. *Наука та інновації*. Т. 16. № 2. С. 3-19. doi: <http://doi.org/10.15407/scin16.02.003>.
- Вишневський В. П., Князев С. І. (2018). Як підвищити готовність промисловості України до смарт-трансформацій. *Наука та інновації*. № 14 (4). С. 55-69. doi: <https://doi.org/10.15407/scin14.04.055>
- Вишневський В. П., Чекіна В. Д., Гаркушенко О. М. та ін. (2018). Трансформаційний потенціал цифровізації економіки України: звіт про НДР (заключний). НАН України, Ін-т економіки пром-сті. Київ, 176 с. № ДР 0118U002109.
- Гаркушенко О. М., Заніздра М. Ю. (2020). «Зелені» ІКТ: потенціал і пріоритети для сталого розвитку: аналітичний огляд. *Економіка промисловості*. № 3 (91). С. 47-81. doi: <http://doi.org/10.15407/econindustry2020.03.04>
- Геєць В.М. (ред.). (2015). Інноваційна Україна 2020. За ред. В.М. Гейця. Київ: НАН України. Київ. 336 с.
- Державна служба статистики України (2019). Викиди забруднюючих речовин та діоксиду вуглецю в атмосферне повітря. URL: <http://www.ukrstat.gov.ua/>

- operativ/operativ2009/ns_rik/ns_u/dvsr_u 2008.html (дата звернення: 20.08.2020).
- Иванова Н., Мамедьяров З. (2019). Наука и инновации: конкуренция нарастает. *Мировая экономика и международные отношения*. Т. 63. № 5. С. 47-56. doi: <http://doi.org/10.20542/0131-2227-2019-63-5-47-56>
- Лях О.В. (2019). Формування промислових симбіозів як ключовий напрямок забезпечення сталого розвитку. *Економіко-правові аспекти сталого розвитку: держава, регіон, місто: матеріали Першої міжнар. наук.-практ. конф. (м. Київ, 7 червня 2019 р.)*. Київ: Ін-т економіко-правових досліджень НАН України. С. 103-107.
- Лях О.В., Солдак М.О. (2018). Перспективи інноваційного відновлення занедбаних промислових об'єктів в Україні на основі застосування світового досвіду поводження з браунфілдс. *Інноваційне промислове підприємство в формуванні сталого розвитку: монографія*. О. Амоша, Х. Джвігол, Р. Мішкєвіч (заг. ред.). Київ: Ін-т економіки пром-сті НАН України. С. 167-194.
- Міністерство розвитку економіки, торгівлі та сільського господарства України (2020). Огляд економічної активності (січень-серпень 2020 року). Зведений індекс виробництва товарів та послуг за основними видами економічної діяльності. URL: <https://www.me.gov.ua/Documents/Download?id=1e58f9f1-7a9c-4d24-a373-7dc693384e93> (дата звернення: 05.10.2020).
- Солдак М. О. (2019). Промислові екосистеми і технологічний розвиток. *Економіка промисловості*. № 4 (88). С. 75-91. doi: <http://doi.org/10.15407/econindustry2019.04.075>
- Федеральная служба государственной статистики (Росстат) (2018). Распределение численности занятых по видам экономической деятельности (отраслям). *Россия и страны мира: стат. сб.* Москва. 376 с.
- Череватський Д. Ю. (2020). Залежність якості життя від енергоспоживання: міждержавні варіації. *Демографія та соціальна економіка*. № 3 (41). С. 144-157.
- Якубовський М. М., Солдак М. О. (2017). Регіональні особливості розвитку промисловості України. *Економіка України*. № 3 (664). С. 35-48.
- Amosha O., Lyakh O., Soldak M., Cherevat-skyi D. (2018). Institutional determinants of implementation of the smart specialisation concept: case for old industrial coal-mining regions in Ukraine. *Journal of European Economy*. Vol. 17, № 3 (66). July-September. P. 305-332.
- Andreoni A. (2018). The architecture and dynamics of industrial ecosystems: diversification and innovative industrial renewal in Emilia Romagna. *Cambridge Journal of Economics*, Vol. 42. Iss. 6. P. 1-30. doi: <http://doi.org/10.1093/cje/bey037>
- Ashton W. S. (2009). The Structure, Function, and Evolution of a Regional Industrial Ecosystem. *Journal of Industrial Ecology*. № 13 (2). P. 228-246. doi: <http://doi.org/10.1111/j.1530-9290.2009.00111.x>
- Ayres R. U. (1994). *Industrial Metabolism: Theory and Policy. The Greening of Industrial Ecosystems*. Washington. DC: National Academy Press. P. 23-37.
- Begon M., Harper J., Townsend C. (1986). *Ecology: individuals, populations and communities*. Blackwell Scientific Publications, Oxford. 876 p.
- Boons F. A., Baas L. W. (1997). Types of industrial ecology: The problem of coordination. *Journal of Cleaner Production*. № 5 (1&2). P. 79-86.
- BP Statistical Review of World Energy 2019 (2019). URL: <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2019-full-report.pdf> (дата звернення: 10.09.2020).
- BP Statistical Review of World Energy, June 2009 (2009). URL: <http://www.nubukeinvestments.com/downloads/BP%20Statistical%20Review%20of%20World%20Energy%20June%202009.pdf> (дата звернення: 05.09.2020).

- Chertow M., Ehrenfeld J. (2012). Organizing self-organizing systems – towards a theory of industrial symbiosis. *Journal of Industrial Ecology*. № 16 (1). P. 13-27.
- Chertow M. R., Ashton W. S., Espinosa J. C. (2008). Industrial Symbiosis in Puerto Rico: Environmentally Related Agglomeration Economies. *Regional Studies*. Vol. 42.10. P. 1299-1312.
- European Commission (2020, March). A European Industrial Strategy. A new Industrial Strategy for a globally competitive, green and digital Europe.
- Forge S., Blackman C., Bohlin E. Cave M. (2009). A Green Knowledge Society. An ICT policy agenda to 2015 for Europe's future knowledge society. *A study for the Ministry of Enterprise, Energy and Communications*. Government Offices of Sweden. Published by SCF Associates Ltd.
- Fratocchi L., Di Stefano C. (2019). Do Industry 4.0 technologies matter when companies evaluate reshoring decisions? *II Workshop on Metrology for Industry 4.0 and IoT (MetroInd4.0&IoT)*. Naples, Italy. P. 376-381. doi: <http://doi.org/10.1109/METROI4.2019.8792897>
- Frosch D., Gallopoulos N. (1989). Strategies for manufacturing. *Scientific American*. Vol 261. № 3. P. 94-102.
- Fung, K., Korinek J. (2013). Economics of Export Restrictions as Applied to Industrial Raw Materials. OECD Trade Policy Papers, №155, OECD Publishing, Paris. doi: <http://doi.org/10.1787/18166873>
- Geng Y. (2002). Scavengers and decomposers in an eco-industrial park. *International Journal of Sustainable Development and World Ecology*. № 9 (4). P. 333-340. doi: <http://doi.org/10.1080/13504500209470128>
- Germanwatch (2020). Climate Change Performance Index. URL: <https://www.climate-change-performance-index.org/about> (Дата звернення: 10.09.2020).
- Graedel T. E. (1996). On the concept of industrial ecology. *Annual Review of Energy and the Environment*. № 21 (1). P. 69-98. doi: <http://doi.org/10.1146/annurev.energy.21.1.69>
- Grijpink F., Kutcher E., Ménard A., Ramaswamy S., Schiavotto D., Manyika J., Chui M., Hamill R., Okan E. (2020). Connected world. *An evolution in connectivity beyond the 5G revolution*. Discussion paper. McKinsey Global Institute, February. 87 pp.
- Haass R. (2020, April 7). The Pandemic Will Accelerate History Rather Than Reshape It. *Foreign Affairs*.
- Hardy C., Graedel T. E. (2002). Industrial Ecosystems as Food Webs. *Journal of Industrial Ecology*. № 6 (1). P. 29-38. doi: <http://doi.org/10.1162/108819802320971623>
- Human Development Index and Ecological Footprint (2016). Global Footprint Network. URL: <http://data.footprintnetwork.org/#/sustainableDevelopment?cn=5001&type=BCpc,EFCpc&yr=2016> (дата звернення: 15.08.2020).
- IEA (2020, July). Coal Information: Overview. Statistics report. URL: <https://www.iea.org/reports/coal-information-overview> (дата звернення: 05.09.2020).
- ILO (2019). Employment by sex and age (ILO modelled estimates), thousands. URL: https://www.ilo.org/shinyapps/bulkexplore3/?lang=en&segment=indicator&id=POP_2POP_SEX_AGE_NB_A (дата звернення: 10.08.2020).
- Kaivo-Oja J., Knudsen M. S., Lauraéus T. (2018). Reimagining Finland as a manufacturing base: the nearshoring potential of Finland in an Industry 4.0 perspective. *Business, Management and Education*. Vol. 16. Iss. 1. P. 65-80. doi: <https://doi.org/10.3846/bme.2018.2480>
- Kennedy S. (2015). Made in China 2025. Centre for Strategic & International Studies. URL: <https://www.csis.org/analysis/made-china-2025> (дата звернення: 07.09.2020).
- Korhonen J. (2000). Industrial Ecosystem. Using the Material and Energy Flow Model of an Ecosystem in an Industrial System. *Jyväskylä Studies in Business and Economics* 5. Jyväskylä.

- Levine S. H. (2003). Comparing Products and Production in Ecological and Industrial Systems. *Journal of Industrial Ecology*. № 7 (2). P. 33-42. doi: <https://doi.org/10.1162/108819803322564334>
- Ma C.-Q., Liu J.-L., Ren Y.-S., Jiang Y. (2019). The Impact of Economic Growth, FDI and Energy Intensity on China's Manufacturing Industry's CO2 Emissions: An Empirical Study Based on the Fixed-Effect Panel Quantile Regression Model. *Energies*. № 12(24). P. 1-16. doi: <https://doi.org/10.3390/en12244800>
- Marin D. (2020). How COVID-19 Is Transforming Manufacturing - Project Syndicate. URL: <https://www.project-syndicate.org/commentary/covid19-and-robots-drive-manufacturing-reshoring-by-dalia-marin-2020-04> (дата звернення: 23.09.2020).
- Much work needed' to make digital economy environmentally sustainable. *The Guardian* (2018). 20 Feb. URL: <https://www.theguardian.com/environment/2018/feb/20/much-work-needed-to-make-digital-economy-environmentally-sustainable> (дата звернення: 08.09.2020).
- OECD (2019). Green Growth IndicatorStat. URL: https://stats.oecd.org/viewhtml.aspx?datasetcode=GREEN_GROWTH&lang=en (дата звернення: 07.08.2020).
- Pegoraro D., Propriis L. De, Chidlow A. (2020). De-globalisation, value chains and reshoring. Industry 4.0 and Regional Transformations. Eds De Propriis L., Bailey D. London. Routledge. P. 152-175. doi: <https://doi.org/10.4324/9780429057984>
- Reynolds E. B., Uygun Y. (2017). Strengthening advanced manufacturing innovation ecosystems: *The case of Massachusetts. Technological Forecasting and Social Change*. doi: <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2017.06.003>
- Soldak M. O., Shamileva L. L. (2018). Factors of the industrial regions' development: opportunities for modernization on an innovative basis. *Економіка промисловості*. № 1. С. 21-43. doi: <https://doi.org/10.15407/econindustry2018.01.021>
- Tate W. L., Ellram L. M., Schoenherr T., Petersen K. J. (2014) Global competitive conditions driving the manufacturing location decision. *Business Horizons*. № 57 (3). P. 381-390.
- Tian, Y., Xiong, S., Ma, X., & Ji, J. (2018). Structural path decomposition of carbon emission: A study of China's manufacturing industry. *Journal of Cleaner Production*, 193, P. 563-574. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.05.047>
- UNECE (2013). Кабинетное исследование по Оценке потенциала стран Восточной Европы, Кавказа и Центральной Азии в области разработки статистических данных для измерения устойчивого развития и экологической устойчивости. URL: https://www.unece.org/fileadmin/DAM/stats/documents/ece/ces/ge.33/2013/mtg4/Desk_study_RU.pdf (дата звернення: 02.09.2020).
- UNIDO (2019). Отчет о промышленном развитии – 2020. Индустриализация в цифровую эпоху. Обзор. Вена.
- UNIDO (2020). Competitive Industrial Performance Index 2020 (Report). URL: <https://stat.unido.org/content/publications/competitive-industrial-performance-index-2020> (дата звернення: 15.09.2020).
- Wells P. E. (2006). Re-writing the ecological metaphor: Part 1. *Progress in Industrial Ecology*. № 3 (1-2). P. 114-128.
- World Bank (2020a). Industry (including construction), value added (current US\$). URL: <https://data.worldbank.org/indicator/NV.IND.TOTL.CD> (дата звернення: 18.08.2020).
- World Bank (2020b). Research and development expenditure (% of GDP). URL: <https://data.worldbank.org/indicator/GB.XPD.RSDV.GD.ZS> (дата звернення: 15.08.2020).
- World Bank (2020c). GDP (current US\$). URL: <https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.MKTP.CD> (дата звернення: 13.07.2020).
- World Bank (2020d). CO2 emissions (kt). URL: <https://data.worldbank.org/indicator/>

- EN.ATM.CO2E.KT (дата звернення: 10.08.2020).
- World Bank (2020e). Population, total. URL: <https://data.worldbank.org/indicator/SP.POP.TOTL> (дата звернення: 18.08.2020).
- World Bank (2020f). GDP per capita, PPP (current international \$). URL: <https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.PCAP.PP.CD> (дата звернення: 18.08.2020).
- WWF Росії (2004). Рамочная конвенция ООН об изменении климата. Первые десять лет. URL: <https://wwf.ru/upload/iblock/c4d/10yearsunfccc.pdf> (дата звернення: 05.07.2020).
- ### References
- Andronova, I. V., & Bokachev, I. N. (2019). Government support for science, technology and innovation in India. *World Economy and International Relations*, 63 (11), pp. 38-45. doi: <https://doi.org/10.20542/0131-2227-2019-63-11-38-45>
- Vishnevsky, V. P. (Ed.). (2019). Smart industry: directions of formation, problems and solutions. Kyiv: Institute of Industrial Economics of the NAS of Ukraine. Retrieved from <https://iie.org.ua/monografiyi/smart-promislovist-naprjami-stanovlennja-problemi-i-rishennja/> [in Ukrainian].
- Vishnevsky, V. P., Harkushenko, O. M., & Knjazez, S. I. (2020) Technology Gaps: the Concept, Models, and Ways of Overcoming. *Nauka innov.*, 16 (2), pp. 3-19. doi: <https://doi.org/10.15407/scin16.02.003> [in Ukrainian].
- Vishnevsky, V. P., & Knjazez, S. I. (2018). How to Increase the Readiness of Ukraine Industry to Smart Transformations. *Nauka innov.*, 14 (4), pp. 55-69. doi: <https://doi.org/10.15407/scin14.04.055> [in Ukrainian].
- Vishnevsky, V. P., Chekina, V. D., & Garkushenko, O. N. (2018). Transformational potential of digitalization of the Ukrainian economy: research report (final). Kyiv: Institute of the Economy of Industry of the NAS of Ukraine [in Ukrainian].
- Garkushenko, O., & Zanizdra, M. (2020). Green ICTs: potential and priorities for sustainable development. Analytical review. *Econ. promisl.*, 3 (91), pp. 47-81. doi: <https://doi.org/10.15407/econindustry2020.03.047> [in Ukrainian].
- Heyets, V.M. (Ed.). (2015). Innovative Ukraine 2020. Kyiv: NAS of Ukraine [in Ukrainian].
- State Statistics Service of Ukraine (2019). Emissions of pollutants and carbon dioxide into the atmosphere. Retrieved from http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2009/ns_rik/ns_u/dvsr_u2008.html
- Ivanova, N. I., & Mamedov, Z. A. (2019). R&D and innovation: competition is growing. *World Economy and International Relations*, 63 (5), pp. 47-56. doi: <https://doi.org/10.20542/0131-2227-2019-63-5-47-56>
- Lyakh, O. (2019, June). Formation of industrial symbioses as a key direction of sustainable development. *Economic and legal aspects of sustainable development: state, region, city: materials of Institute of Economic and Legal Research of the National Academy of Sciences of Ukraine* (pp. 103-107). Kyiv [in Ukrainian].
- Lyakh, O., & Soldak, M. (2018). Prospects for innovative restoration of abandoned industrial facilities in Ukraine based on the application of world experience in handling brownfields. In O. Amosha, H. Djvigol, R. Mishkevich (Eds.). *Innovative industrial enterprise in the formation of sustainable development* (pp. 167-194). Kyiv: Institute of Industrial Economics of the NAS of Ukraine [in Ukrainian].
- Ministry for Development of Economy, Trade and Agriculture of Ukraine (2020). Review of economic activity (January-August 2020). Consolidated index of production of goods and services by main types of economic activity. Retrieved from <https://www.me.gov.ua/Documents/Download?id=1e58f9f1-7a9c-4d24-a373-7dc693384e93> [in Ukrainian].
- Soldak, M. O. (2019). Industrial ecosystems and technological development. *Econ. promisl.*, 4 (88), pp. 75-91. doi:

- <https://doi.org/10.15407/econindustry2019.04.075> [in Ukrainian].
- Federal State Statistic Service (2018). Distribution of the number of employed by types of economic activities (industries). Russia and countries of the world (statistical compendium). Moscow.
- Cherevatskyi, D. Yu. (2020) Quality of life dependence on energy consumption: inter-country variations. *Demography and Social Economy*, 3 (41), pp. 144-157 [in Ukrainian].
- Jakubovskiy, M. M., & Soldak, M. O. (2017). Regional peculiarities of industrial development in Ukraine. *Economic of Ukrainian*, 3, pp. 35-48 [in Ukrainian].
- Amosha, O., Lyakh, O., Soldak, M., & Cherevatskyi, D. (2018). Institutional determinants of implementation of the smart specialisation concept: case for old industrial coal-mining regions in Ukraine. *Journal of European Economy*, Vol. 17, No 3 (66), July-September, pp. 305-332.
- Andreoni, A. (2018). The architecture and dynamics of industrial ecosystems: diversification and innovative industrial renewal in Emilia Romagna. *Cambridge Journal of Economics*, 42 (6), pp. 1-30. doi: <https://doi.org/10.1093/cje/bey037>
- Ashton, W.S. (2009). The Structure, Function, and Evolution of a Regional Industrial Ecosystem. *Journal of Industrial Ecology*, 13 (2), pp. 228-246. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1530-9290.2009.00111.x>
- Ayres, R. U. (1994). Industrial Metabolism: Theory and Policy. *The Greening of Industrial Ecosystems*. Washington, DC: National Academy Press, pp. 23-37.
- Begon, M., Harper, J., & Townsend, C. (1986). *Ecology: individuals, populations and communities*. Blackwell Scientific Publications, Oxford.
- Boons, F. A., & Baas, L. W. (1997). Types of industrial ecology: The problem of coordination. *Journal of Cleaner Production*, 5(1&2), pp. 79-86.
- BP Statistical Review of World Energy 2019 (2019). Retrieved from <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2019-full-report.pdf>
- BP Statistical Review of World Energy, June 2009 (2009). Retrieved from <http://www.nubukeinvestments.com/downloads/BP%20Statistical%20Review%20of%20World%20Energy%20June%202009.pdf>
- Chertow, M., Ehrenfeld, J. (2012) Organizing self-organizing systems –towards a theory of industrial symbiosis. *Journal of Industrial Ecology*, 16 (1), pp. 13-27.
- Chertow, M. R., & Ashton, W. S., Espinosa, J. C. (2008). Industrial Symbiosis in Puerto Rico: Environmentally Related Agglomeration Economies. *Regional Studies*, 42.10, pp. 1299-1312.
- European Commission (2020, March). A European Industrial Strategy. A new Industrial Strategy for a globally competitive, green and digital Europe.
- Forge, S., Blackman, C., Bohlin, E., & Cave M. (2009). A Green Knowledge Society. An ICT policy agenda to 2015 for Europe's future knowledge society. *A study for the Ministry of Enterprise, Energy and Communications. Government Offices of Sweden*. Published by SCF Associates Ltd.
- Fratocchi, L., & Di Stefano, C. (2019). Do Industry 4.0 technologies matter when companies evaluate reshoring decisions? *II Workshop on Metrology for Industry 4.0 and IoT (MetroInd4.0&IoT)* (pp. 376-381). Naples, Italy, doi: <https://doi.org/10.1109/METROI4.2019.8792897>
- Frosch, D., & Gallopoulos, N. (1989). Strategies for manufacturing. *Scientific American*, 3 (261), pp. 94-102.
- Fung, K., & Korinek, J. (2013). Economics of Export Restrictions as Applied to Industrial Raw Materials. *OECD Trade Policy Papers*, 155. OECD Publishing, Paris. doi: <https://doi.org/10.1787/18166873>
- Geng, Y. (2002). Scavengers and decomposers in an eco-industrial park. *International Journal of Sustainable Development and World Ecology*, 9 (4), pp. 333-340. doi: <https://doi.org/10.1080/13504500209470128>.

- Germanwatch (2020). Climate Change Performance Index. Retrieved from <https://www.climate-change-performance-index.org/about>
- Graedel, T.E. (1996). On the concept of industrial ecology. *Annual Review of Energy and the Environment*, 21 (1), pp. 69-98. doi: <https://doi.org/10.1146/annurev.energy.21.1.69>.
- Grijpink, F., Kutcher, E., Ménard, A., Ramaswamy, S., Schiavotto, D., Manyika, J., Chui, M., Hamill, R., & Okan, E. (2020, February). Connected world. An evolution in connectivity beyond the 5G revolution. Discussion paper. McKinsey Global Institute, 87 p.
- Haass, R. (2020, April 7). The Pandemic Will Accelerate History Rather Than Reshape It. *Foreign Affairs*.
- Hardy, C., & Graedel, T.E. (2002). Industrial Ecosystems as Food Webs. *Journal of Industrial Ecology*, 6 (1), pp. 29-38. doi: <https://doi.org/10.1162/108819802320971623>
- Human Development Index and Ecological Footprint (2016). Global Footprint Network. Retrieved from <http://data.footprintnetwork.org/#/sustainableDevelopment?cn=5001&type=BCpc,EFCpc&yr=2016>
- IEA (2020). Coal Information: Overview. Statistics report – July 2020. Retrieved from <https://www.iea.org/reports/coal-information-overview>.
- ILO. Employment by sex and age (ILO modelled estimates), thousands (2019). Retrieved from https://www.ilo.org/shinyapps/bulkexplorer3/?lang=en&segment=indicator&id=POP_2POP_SEX_AGE_NB_A
- Kaivo-Oja, J., Knudsen, M.S., & Lauráeus T. (2018). Reimagining Finland as a manufacturing base: the nearshoring potential of Finland in an Industry 4.0 perspective. *Business, Management and Education*, 16 (1), pp. 65-80. doi: <https://doi.org/10.3846/bme.2018.2480>
- Kennedy, S. (2015). Made in China 2025. Centre for Strategic & International Studies. Retrieved from <https://www.csis.org/analysis/made-china-2025>.
- Korhonen, J. (2000). *Industrial Ecosystem. Using the Material and Energy Flow Model of an Ecosystem in an Industrial System*. Jyväskylä Studies in Business and Economics 5. Jyväskylä.
- Levine, S. H. (2003). Comparing Products and Production in Ecological and Industrial Systems. *Journal of Industrial Ecology*, 7 (2), pp. 33-42. doi: <https://doi.org/10.1162/108819803322564334>
- Ma, C.-Q., Liu, J.-L., Ren, Y.-S., & Jiang, Y. (2019). The Impact of Economic Growth, FDI and Energy Intensity on China's Manufacturing Industry's CO2 Emissions: An Empirical Study Based on the Fixed-Effect Panel Quantile Regression Model. *Energies*, 12(24), pp. 1-16. doi: <https://doi.org/10.3390/en12244800>
- Marin, D. (2020). How COVID-19 Is Transforming Manufacturing – Project Syndicate. Retrieved from <https://www.project-syndicate.org/commentary/covid19-and-robots-drive-manufacturing-reshoring-by-dalia-marin-2020-04> (Дата звернення: 23.09.2020).
- Much work needed' to make digital economy environmentally sustainable (2018, February, 20). *The Guardian*. Retrieved from <https://www.theguardian.com/environment/2018/feb/20/much-work-needed-to-make-digital-economy-environmentally-sustainable>.
- OECD (2019). Green Growth IndicatorStat. Retrieved from https://stats.oecd.org/viewhtml.aspx?datasetcode=GREEN_GROWTH&lang=en
- Pegoraro, D., Propriis, L. De, & Chidlow, A. (2020). De-globalisation, value chains and reshoring. In L. De Propriis, D. Bailey (Eds.). *Industry 4.0 and Regional Transformations* (pp. 152-175). London. Routledge, doi: <https://doi.org/10.4324/9780429057984>
- Reynolds, E. B., & Uygun, Y. (2017). Strengthening advanced manufacturing innovation ecosystems: The case of Massachusetts. *Technological Forecasting and Social Change*. doi: <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2017.06.003>

- Soldak, M.O., Shamileva, L.L. (2018) Factors of the industrial regions' development: opportunities for modernization on an innovative basis. *Econ.promisl*, 1 (81), pp. 21-43. doi: <https://doi.org/10.15407/econindustry2018.01.021>
- Tate, W.L., Ellram, L.M., Schoenherr, T., & Petersen, K.J. (2014). Global competitive conditions driving the manufacturing location decision. *Business Horizons*, 57(3), pp. 381-390.
- Tian, Y., Xiong, S., Ma, X., & Ji, J. (2018). Structural path decomposition of carbon emission: A study of China's manufacturing industry. *Journal of Cleaner Production*, 193, pp. 563-574. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.05.047>
- UNECE (2013). A Panel Study on Assessing the Potential of Countries in Eastern Europe, Caucasus and Central Asia in Developing Statistics to Measure Sustainable Development and Environmental Sustainability. Retrieved from: https://www.unece.org/fileadmin/DAM/stats/documents/ece/ces/ge.33/2013/mtg4/Desk_study_RU.pdf
- UNIDO (2019). Industrial Development Report 2020. Industrialization in the Digital Age. Overview. Vein.
- UNIDO (2020). Competitive Industrial Performance Index 2020 (Report). Retrieved from <https://stat.unido.org/content/publications/competitive-industrial-performance-index-2020>
- Wells, P. E. (2006). Re-writing the ecological metaphor: Part 1. *Progress in Industrial Ecology*, 3(1-2), pp. 114-128.
- World Bank (2020a). Industry (including construction), value added (current US\$). Retrieved from <https://data.worldbank.org/indicator/NV.IND.TOTL.CD>
- World Bank (2020b). Research and development expenditure (% of GDP). Retrieved from <https://data.worldbank.org/indicator/GB.XPD.RSDV.GD.ZS>
- World Bank (2020c). GDP (current US\$). Retrieved from <https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.MKTP.CD>
- World Bank (2020d). CO2 emissions (kt). Retrieved from <https://data.worldbank.org/indicator/EN.ATM.CO2E.KT>
- World Bank (2020e). Population, total. Retrieved from <https://data.worldbank.org/indicator/SP.POP.TOTL>
- World Bank (2020f). GDP per capita, PPP (current international \$). Retrieved from <https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.PCAP.PP.CD>
- WWF of Russia (2004). Framework Convention on Climate Change. First ten years. Retrieved from <https://wwf.ru/upload/iblock/c4d/10yearsunfccc.pdf>

Мирослава Алексеевна Солдак,

канд. экон. наук, старший научный сотрудник
Институт экономики промышленности НАН Украины
ул. Марии Капнист, 2, г. Киев, 03057, Украина
E-mail: soldak@nas.gov.ua
<https://orcid.org/0000-0002-4762-3083>

ПРОМЫШЛЕННЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ И ЦИФРОВИЗАЦИЯ В КОНТЕКСТЕ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ

Цифровая революция и масштабное использование современных цифровых технологий обуславливает интенсификацию процессов формирования и дальнейшего развития промышленных экосистем как устойчивых географически определенных сетей взаимосвязанных разноплановых предприятий и учреждений, основанных на определенных производственных технологиях. Одновременно наблюдается изменение мест расположения промышленных экосистем, что проявляется в противоречивых процессах рещоринга и ниа-шоринга, а также углубление их специализации, в результате чего в мире в различных его регионах трансформируются имеющиеся и формируются новые промышленные экосистемы с различным воздействием на окружающую среду.

Каждая промышленная экосистема уникальна, но также имеет определенные сходные черты с другими экосистемами, что дает объективные основания для выделения их характерных типов. Национальные экономики (68 стран) сгруппированы по размерам промышленных экосистем (добавленной стоимости), их трудоемкости, наукоемкости и экологичности (выбросам CO₂). В результате кластерного анализа установлено, что безусловное лидерство по качественным характеристикам, прежде всего по производительности труда и затратам на R&D, принадлежит промышленным экосистемам развитых стран Европы, Азиатско-Тихоокеанского региона и США. Промышленная экосистема Украины отнесена к кластеру "догоняющих" стран, которые характеризуются худшими показателями, в том числе в области устойчивого развития.

Для оценки экологичности промышленных экосистем предложено использовать показатель удельной площади экологического следа, характеризующий его размер, который приходится на потребление 1 т угля. Расчеты этого показателя показали, что увеличение потребления угля в мире в последние десятилетия сопровождалось уменьшением удельной площади экологического следа в результате прогресса в развитии «чистых» технологий производства и потребления данного энергоносителя. Вместе с тем в отдельных кластерах промышленных экосистем ситуация различна. С учетом разницы в объемах производства ВВП на душу населения удельный экологический след в развивающихся странах почти в 3 раза больше, чем в развитых. То есть обеспечение жизнедеятельности человека в промышленных экосистемах развивающихся стран (в том числе Украины) в расчете на 1 долл. доходов связано с существенно большим удельным экологическим следом.

В настоящее время национальная промышленная экосистема Украины отличается низким технико-технологическим уровнем производства и высоким удельным потреблением угля с соответствующими негативными последствиями для окружающей среды. Для обеспечения ее перехода на траекторию устойчивого развития необходимо создание институтов, которые бы стимулировали на государственном уровне циклическую модель поведения промышленных предприятий, а также развитие и распространение новейших цифровых технологий в промышленном производстве и энергетике, которые способны уменьшить экологический след.

Ключевые слова: промышленная экосистема, цифровизация, устойчивое развитие, экологический след, удельная площадь экологического следа.

JEL: O330, O140, Q570

Myroslava O. Soldak,

PhD in Economics, Leading Researcher

Institute of Industrial Economics of the NAS of Ukraine,

2 Maria Kapnist Street, Kyiv, 03057, Ukraine

E-mail: soldak@nas.gov.ua

<https://orcid.org/0000-0002-4762-3083>

INDUSTRIAL ECOSYSTEMS AND DIGITALIZATION IN THE CONTEXT OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT

The digital revolution and extended use of modern digital technologies define the intensification of formation processes and further development of industrial ecosystems as stable geographically established networks of interconnected diverse enterprises and institutions, that are based on certain manufacturing technologies. At the same time, the location of industrial ecosystems is changed, which manifests itself in contradictory processes of reshoring and nearshoring, deepening their specialization, as the result of which in various regions of the world existing industrial ecosystems are transforming and new ones with different environmental influence are forming.

Every industrial ecosystem is unique, but it also has some certain similarities with other ecosystems, giving objective reasons for distinguishing their characteristic types. This study carries out the grouping of national economies (68 countries) by the size of industrial ecosystems (value added), their labor intensiveness, knowledge intensiveness and environmental friendliness (CO₂ emissions). According to results of the cluster analysis, it is found that the absolute leadership by qualitative characteristics, primarily in terms of labor productivity and R&D costs, belongs to industrial ecosystems of advanced countries in Europe, Asia-Pacific region and the United States. With regard to Ukraine, its industrial ecosystem is classified to the cluster of countries that are "catching up" and characterized by worse indicators, including in the framework of sustainable development.

To assess the environmental friendliness of industrial ecosystems, it is suggested to use the indicator of a normalized area of an ecological footprint that characterizes its size, which accrues to consumption of 1 ton of coal. Calculations of this indicator show that the increase of world coal consumption in recent decades is followed by a decrease of a normalized area of the ecological footprint as a result of progress in the development of "clean" manufacturing technologies and consumption of this energy source. However, the situation is different in various clusters of industrial ecosystems. With the difference of volume of GDP per capita, the normalized ecological footprint of developing countries is almost 3 times higher than in advanced ones. Namely, the life support in industrial ecosystems of developing countries (including Ukraine) per 1 dollar of income is associated with a significantly higher normalized ecological footprint.

The Ukrainian national industrial ecosystem is currently characterized by the low technical and technological level of production and high normalized coal consumption with corresponding negative consequences for the environment. To ensure its transition to a sustainable development trajectory, it is necessary to create institutions that would stimulate a cyclical model of industrial behavior at the state level, as well as the development and dissemination of new digital technologies in industrial production and energy sector that can reduce the ecological footprint.

Keywords: industrial ecosystem, digitalization, sustainable development, ecological footprint, normalized area of ecological footprint.

JEL: O330, O140, Q570

Формат цитування:

Солдак М.О. (2020). Промислові екосистеми і цифровізація в контексті сталого розвитку. *Економіка промисловості*. № 4 (92). С. 38-66. doi: <http://doi.org/10.15407/econindustry2020.04.038>

Soldak, M. O. (2020). Industrial ecosystems and digitalization in the context of sustainable development. *Econ. promisl.*, 4 (92), pp. 38-66. doi: <http://doi.org/10.15407/econindustry2020.04.038>

Надійшла до редакції 12.10.2020 р.